NOTE

SUR LES

PLAIES PRODUITES

PAR LES

ARMES A FEU,

SUR QUELQUES EFFETS DE LA PÉNÉTRATION DES PROJECTILES
DANS DIVERS MILIEUX
ET SUR L'IMPOSSIBILITÉ DE LA FUSION DES BALLES DE PLOMB QUI FRAPPENT
LES HOMMES OU LES CHEVAUX;

PAR

M. MELSENS,

Membre de l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique,
Membre honoraire de la Société royale des Sciences médicales et naturelles de Bruxelles,
Professeur de physique et de chimie à l'Ecole de médecine vétérinaire,
Examinateur permanent à l'Ecole militaire;
Chevalier des Ordres de Léopold, de la Légion-d'honneur,
de François-Joseph et de Wasa.

Extrait du *Journal* publié par la
Société royale des Sciences médicales et naturelles de Bruxelles.

BRUXELLES,

LIBRAIRIE MÉDICALE DE H. MANCEAUX,

Imprimeur de l'Académie royale de médecine, Libraire de la Faculté de médecine, etc.,

Rue des Trois-Têtes, 8 (Montagne de la Cour).

1872

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES.



OBSERVATIONS PRÉLIMINAIRES.

— Pulvérisation des balles de plomb, d'alliage fusible, de bismuth, d'étain, d'antimoine, de zinc, par leur arrêt subit sur des obstacles durs et fixes.

— Phénomènes produits lorsque le plomb fondu ou l'alliage fusible tombent sur des obstacles, plans lisses, rugueux, mais durs, et sur des matières organiques.

— Tir des balles de plomb et d'alliage fusible dans l'eau.

§ 13. — Tir des balles de plomb et d'alliage fusible dans des matières différentes par leur nature, leur dureté, etc., plomb, bois, calcaires durs et polis, calcaires tendres. — Tirs dans des papiers. — Mêmes tirs, la balle ayant traversé d'abord des lames de fonte, des lames de fer ou des os. — Fragmentation des balles dans ces différents cas.

§ 14. — Observations préliminaires. — Différences essentielles entre les observations faites dans des tirs d'expériences et celles qui sont faites sur des soldats blessés. — Tir de la balle de pistolet dans les organes du cheval. — Projection de matière en avant, du côté du tireur. — Forme des blessures, cylindres, cônes et doubles cônes ; leur assimilation avec ce qui se passe dans les blocs d'argile traversés par des balles. — Tir dans le corps du cheval. — Dans les os avec le fusil de munition à balle sphérique en plomb et en alliage fusible.

§ 15. — Expériences au pistolet de tir dont les balles de plomb brisent et traversent les os du cheval.

— Expériences faites en vue de prouver que les balles de plomb et même les balles d'alliage fusible ne fondent pas en produisant les plaies ; tir de ces balles dans les os du cheval.

§ 16. — Conclusions générales tirées des expériences décrites dans les §§ 12, 13, 14 et 15.

— Exactitude des calculs de M. Coze, mais application erronée et donnée importante douteuse.

— Rapports probables entre la force vive et la gravité des désordres produits par les blessures des armes à feu.

§ 17. — Examen succinct des phénomènes qui se produisent dans le mouvement des projectiles dans l'air.

— Les balles entraînent de l'air.

— Le projectile lancé par une arme à feu n'est pas simple : il est composé d'un projectile solide et d'un *projectile-air* ; conclusion à tirer de ces faits.

— Nécessité de nouvelles expériences.

— M. Coze a bien mérité de la science.

OBSERVATIONS PRÉLIMINAIRES.

Dans la séance du 2 octobre 1871, j'ai eu l'honneur de présenter à la *Société royale des Sciences méd. et natur. de Bruxelles* quelques observations à propos d'un travail de chirurgie militaire analysé par M. le Dr Louis Martin. Dans la séance suivante, j'ai mis sous les yeux de la Société quelques résultats d'expériences à l'appui de ma première communication verbale; une note rédigée sur cette deuxième communication n'a pu paraître dans le cahier de novembre; mais, depuis cette époque, M. Coze, ancien professeur de la Faculté de médecine de Strasbourg, a présenté un travail, à l'Institut de France, sur la fragmentation des balles et leur fusion probable dans les plaies produites par les armes à feu (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences,* séance du 13 novembre).

Il m'a paru, dès lors, utile de reprendre la discussion, et, dans la séance du 5 décembre, j'ai cru devoir présenter quelques observations nouvelles en opposition complète avec les conclusions du savant professeur de Strasbourg. Quelques-uns de mes collègues ont pensé qu'il pourrait être utile de résumer l'ensemble de la question et m'ont exprimé le désir que les notions de *mouvement* qui s'y rattachent fussent mises sous les yeux des lecteurs du Journal de la Société, en donnant, sous une forme élémentaire, les principes généraux de mécanique et de physique que l'on invoque dans des questions de cette nature ou sur lesquels se base le raisonnement positif qui nous amène à des conclusions positives.

C'est la réalisation de ce vœu qui m'a fait rédiger la présente note, précédée d'un résumé des lois donnant les notions indispensables pour bien comprendre ce qu'il faut penser de l'application des principes de la *théorie mécanique de la chaleur* aux phénomènes produits dans l'économie animale par les balles des armes à feu.

Cette introduction, approuvée par quelques confrères, leur paraissait d'autant plus utile que, dans la vie pratique, il n'est pas toujours donné au médecin de suivre les développements de toutes les sciences. L'étude de la chaleur et de la thermodynamique a fait, en peu de temps, des progrès énormes et des découvertes de la plus haute importance se rattachant directement ou indirectement à toutes les questions les plus élevées de la *philosophie naturelle*.

Il fallait, me semblait-il, pour réaliser le vœu de mes savants confrères et être utile à beaucoup de lecteurs du Journal de la Société, mettre sous leurs yeux, sous une forme simple capable d'être comprise par tous, toutes les données les plus importantes, physiques, mécaniques et thermodynamiques. Il fallait, tout en restant simple dans l'exposé, montrer d'une manière claire, mais assez complète pour ne laisser aucun doute dans l'esprit, cette corrélation si admirable des forces physiques, et principalement celles qui existent entre le *mouvement*, le *travail* et la *chaleur*.

Telles que je les présente, ces notions indispensables forment un ensemble qui forcerait ceux qui ne les possèdent pas complètement à avoir recours à des traités spéciaux, à des ouvrages classiques, qui les exposent avec les détails qu'elles comportent. Ces détails, j'ai cherché à les éviter, et cependant, sur quelques points, ceux qui savent déjà pourront m'accuser de prolixité ; parfois même j'ai supposé que je devais enseigner et enseigner avec simplicité. On me pardonnera, je l'espère, en pensant que j'avais en vue d'alléger le travail à ceux qui ont quitté les bancs de l'école depuis que ces graves questions de chaleur et de mouvement ont changé la face de l'ancienne physique, à ceux qui depuis longtemps exercent le sacerdoce de l'art de guérir, aux médecins praticiens, en un mot ; mais j'ai pensé aussi aux jeunes chirurgiens, qui retrouveront, sous une forme condensée, des notions qui, peut-être, déjà commençaient à s'effacer de leur esprit. Oserais-je ajouter aussi que, pour tous, j'ai voulu bien poser la question débattue sur la cause de l'action des projectiles. En effet, si toutes les lois essentielles sont données sous forme de formules algébriques d'abord, leur expression dans le langage ordinaire et des exemples numériques à l'appui en facilitent ensuite l'application.

J'ai cherché à placer dans la main du lecteur attentif le fil conducteur qui doit le guider et l'amener, sans effort, aux conclusions que je crois logiques. Aussi ai-je cru devoir commencer ma note par cette exposition théorique et rejeter les expériences à la fin, quand tous les principes auraient été posés.

Comment, du reste, comprendrait-on les opinions et les calculs de M. Coze scientifiquement ? Comment les combattrait-on, si on ne les discutait de point en point ? Comment pourrait-on acquérir cette certitude dans les conclusions si l'un ou l'autre des moyens de raisonnement, du calcul ramené à la plus grande simplicité ou des expériences faisait défaut ?

Au point de vue le plus général, tous les effets produits sont susceptibles d'une analyse mathématique rigoureuse ; il serait triste de laisser la question dévier de la voie logique dans laquelle on peut la placer et la résoudre au profit des malheureux blessés.

Mais s'il est vrai de dire que l'analyse complète des phénomènes produits dans les plaies des armes à feu doit être faite scientifiquement, c'est-à-dire avec le secours des sciences positives, nous pouvons cependant poser en fait que le

simple bon sens permet de prouver combien sont erronées les opinions qui admettent qu'un os, une pièce de monnaie, un bouton d'habit anéantissent brusquement la vitesse d'un projectile et, par conséquent, les effets dus à son poids ou à sa masse, à sa forme, etc..., et à la vitesse dont il est animé.

En effet, les blessures produites par une balle qui marche vite, dont le poids est faible, pourront être produites aussi par un marteau, dont le poids sera considérable et dont la vitesse serait faible, comparativement à celle de la balle, même en le supposant manié par le bras d'un homme très-robuste. Quel est l'homme qui se laisserait donner un coup de marteau sur un bouton d'habit sous prétexte que la force vive du marteau sera brusquement anéantie et transformée en chaleur communiquée au bouton et au marteau?

Nous verrons que les effets mécaniques cités par M. Coze pour une balle de 40 grammes animée d'une vitesse de 320 mètres par seconde, peuvent être, approximativement, remplacés, par exemple, par des marteaux du poids de 1, 4, 5, 8, 10 et 40 kilogrammes, animés respectivement de 64, 32, 29, 23, 20 et 10 mètres de vitesse par seconde environ, et, pour le dernier, sensiblement, comme s'il tombait d'une hauteur de 5 mètres ou pendant une seconde de temps de chute. Les calculs exacts seront donnés dans la suite de cette note.

Encore une fois, la question est très-simple, car se figure-t-on un bouton amortissant, par sa dureté, le choc d'un poids de 40 kilogrammes tombant d'un premier étage sur la tête d'un homme coiffé d'une calotte de jockey, portant un gros bouton d'acier destiné à amortir ce choc et à transformer la force vive en chaleur. C'est précisément à cause de cette simplicité que je crois utile de traiter la question avec détail, car des médecins, même les plus savants, peuvent se laisser surprendre par des apparences de vérité.

Mais quand il s'agira de discuter les phénomènes que les blessures produites par les projectiles des armes à feu produisent dans le corps de l'homme, je serai nécessairement amené à prouver que l'assimilation que je viens de faire entre l'action d'un projectile animé d'une force vive, représentée par le *faible poids* de la balle, multiplié par le carré de la vitesse, divisé par le double de l'accélération due à la pesanteur, est loin d'être la même que celle du coup d'un marteau très-pesant animé de la faible vitesse que le bras de l'homme peut lui communiquer; la balle exécute bien le même travail mécanique que le marteau, mais la blessure doit revêtir des formes particulières dépendantes de sa masse, de sa forme, de sa vitesse, etc... ainsi que de phénomènes sur lesquels l'attention n'a pas été appelée jusqu'aujourd'hui.

---

§ 1. *Notations et données numériques.*

1° *Pour les questions de mouvement.*

e = l'espace.
t = le temps.
v = la vitesse.
f = la force.
m = masse d'un corps = $\frac{p}{g}$.
g = l'intensité de la pesanteur ou l'accélération = à Bruxelles $9^{m},8108$.
$p = mg$ = le poids.

2° *Pour les phénomènes calorifiques.*

525 = (520 à 535) point de fusion du plomb.
C'' = chaleur latente de fusion du plomb = 5,369.
c = calorique spécifique du plomb à l'état solide = 0,0314.
c' = calorique spécifique du plomb à l'état liquide = 0,0402.
θ = température du mobile au moment où il est arrêté.
θ' = température de fusion du corps.
θ'' = température que le mobile arrêté peut acquérir dans l'hypothèse où il reste solide.
θ''' = température finale du mobile arrêté en supposant que le mobile fonde et que la température s'élève au delà du point de fusion dans la masse fondue.

3° *Pour les questions de thermodynamique.*

$T = \frac{mv^2}{2}$ = travail ou force vive.
C = quantité de chaleur correspondant à T.
$E = \frac{T}{C}$, équivalent mécanique de la chaleur = 425 kilogrammètres, ou dynames, que l'on désigne par les signes Km, Kgm ou D.
$\frac{I}{E} = \frac{C}{T} = \frac{1}{425}$ = équivalent calorifique du travail.

§ 2. *Notions sur les lois du mouvement. Force vive. Travail.*

Les corps qui se meuvent peuvent être mis en mouvement par une *force instantanée*, auquel cas le mobile, à partir de l'instant où la force cesse d'agir,

acquiert un mouvement uniforme ; c'est-à-dire que les espaces parcourus dans des temps égaux sont égaux entre eux, à quelque moment du trajet qu'on mesure le temps et la vitesse correspondante.

Les lois de ce mouvement et la mesure de la force qui le produit et qui n'agit que pendant un temps excessivement court, sont résumées dans les formules suivantes :

$$e = vt;$$

$$v = \frac{e}{t};$$

$$t = \frac{e}{v};$$

$$f = mv;$$

$$f = \frac{pv}{g}.$$

Les lois du mouvement varié se résument dans les formules suivantes; en supposant que le corps parte du repos et en ne considérant que le mouvement uniformément accéléré, produit par une force continue constante.

Représentons par g l'*accélération*, c'est-à-dire la *quantité constante* dont la vitesse s'accroît à chaque unité de temps, quand une force continue constante, agissant sur un corps, imprime à ce corps un mouvement accéléré.

$$v = gt; \ldots\ldots v^2 = g^2 t^2;$$

$$g = \frac{v}{t};$$

$$t = \frac{v}{g}; \ldots\ldots t^2 = \frac{v^2}{g^2};$$

$$e = 1/2\, gt^2 = \frac{v^2}{2g};$$

$$v = \sqrt{2ge}.$$

$$f = mg;$$

$$m = \frac{f}{g};$$

$$g = \frac{f}{m}.$$

Ceci posé, voyons quelles sont les valeurs qui peuvent se remplacer mutuellement dans les formules et qui, par conséquent, sont nécessairement égales entre elles.

Ces substitutions nous permettront d'arriver directement à la connaissance et à la mesure de ce que l'on appelle en mécanique : *Force vive* ou *Travail*.

$$f = \frac{mv}{t}\ ;\ \ldots\ldots\ g \text{ remplacé par } \frac{v}{t}\ ;\ \text{d'où } ft = mv.$$

$$t = \frac{mv}{f}\ ;\ \ldots\ t^2 = \frac{m^2v^2}{f^2}\ ;$$

$$e = 1/2\ \frac{f}{m}\ t^2\ ;$$

$$e = 1/2\ \frac{f}{m} \times \frac{m^2v^2}{f^2} = 1/2\frac{mv^2}{f} \quad \text{ou}$$

$$e = \frac{mv^2}{2f} \ \text{d'où}$$

$$fe = \frac{mv^2}{2}$$

ou plus simplement

$$f = mg$$

$$fe = mg \times 1/2\ gt^2 = \frac{mg^2t^2}{2} = \frac{mg^2}{2} \times \frac{v^2}{g^2}$$

$$fe = \frac{mv^2}{2}$$

C'est cette expression qui représente la *force vive* ou le *travail;* nous verrons plus loin que par convention on peut donner la même valeur à ces deux manières de parler.

Des considérations simples nous permettent de nous rendre un compte exact de l'égalité $fe = \frac{mv^2}{2}$; mais arrêtons-nous un instant sur le terme fe et démontrons qu'en effet la *quantité de travail* peut se mesurer par le produit obtenu en multipliant une force (f), évaluée en kilogrammes par exemple, par (e) le chemin ou l'espace parcouru, par le point d'application de cette force, estimé suivant sa direction et évalué en mètres, ou une unité de mesure linéaire quelconque.

L'idée de *travail* comprend à la fois l'idée d'une résistance qu'il faut vaincre et l'idée d'un chemin parcouru par le point d'application de la force : en effet que fait-on quand on soulève des fardeaux ; quand on change les positions respectives des molécules d'un solide, comme dans le martelage des métaux ; quand on brise des pierres ; quand on débite du bois ; quand on pulvérise des solides à coups de pilons ou en faisant tourner une meule, comme dans la mouture du grain, etc.? *Quand on produit des blessures?* On déplace toujours les points d'application de la résistance à vaincre ; l'effort sera toujours mesuré par un déplacement ou un espace quelconque parcouru.

Un exemple bien simple que j'emprunte librement à l'excellent livre : *Cours élémentaire de mécanique,* par M. Ch. Delaunay, ne me paraît pas déplacé ici.

Deux ouvriers sont chargés d'élever des terres à la pelle à un mètre de hau-

teur; si le premier en élève une quantité double du second, son travail sera nécessairement double de celui effectué par ce dernier; il devra par conséquent recevoir un salaire double; la paie doit être égale à la force vive ou au travail produit par l'ouvrier, d'après le principe : *la force vive est ce qui se paie;* mais il est évident que si le second élève la moitié de la quantité de terre à une hauteur double, il aura fait exactement le même travail. A égalité de force vaincue, le travail est proportionnel à la hauteur qu'on a fait parcourir au point d'application de cette force, estimé suivant sa direction ; et à égalité de chemin parcouru, le travail est proportionnel à la grandeur de la résistance vaincue, c'est-à-dire à la quantité de terre soulevée.

« Il en résulte nécessairement que le travail est proportionnel au produit de » la résistance vaincue par le chemin parcouru par son point d'application, » estimé suivant sa direction; en sorte qu'on peut prendre ce produit pour la » *mesure du travail.* »

L'expression fe comme représentant la quantité de travail est donc parfaitement justifiée, et il ne peut rester aucun doute sur l'égalité des valeurs de la formule $fe = \frac{mv^2}{2}$.

Mais si l'on peut dire que la force vive est ce qui se paie, on voit de suite qu'à côté de cette donnée de la vie ordinaire, et en prenant l'exemple dans le débit des bois ou la pulvérisation à coups de pilons ou de marteaux, on pourra dire aussi, *toutes choses égales d'ailleurs :* La blessure sera d'autant plus grave que la force vive sera plus considérable, peu importe qu'elle soit produite par un coup de marteau ou par le projectile d'une arme à feu; en un mot, elle sera proportionnelle à $\frac{mv^2}{2}$.

---

§ 3. *Enoncé des lois du mouvement en langage ordinaire. — Définition exacte des termes : inertie, masse, quantité de mouvement, force, force vive, travail.*

FORCES INSTANTANÉES.

Traduisons en langage ordinaire toutes les données et les lois principales de la notation adoptée et des formules.

Dans le mouvement uniforme produit par une force instantanée, l'espace parcouru est égal au produit de la vitesse par le temps.

$$e = vt \qquad (1).$$

Une force instantanée a pour mesure le produit de la masse par la vitesse (mv); *ce produit se nomme* : QUANTITÉ DE MOUVEMENT.

$$f = mv \qquad (2).$$

2

Cette formule peut s'écrire sous une autre forme, comme nous le verrons plus loin :

$$f = \frac{p}{g} v \qquad (2 \ bis),$$

en remplaçant (m) la masse par $\frac{p}{g}$.

Mais avant de nous occuper du mouvement varié, accéléré ou retardé, il est nécessaire de constater l'indifférence complète de la matière au mouvement qu'on peut lui imprimer ou au repos relatif dans lequel elle se trouve ; un corps au repos relatif ou absolu reste en repos ; si au contraire le corps se meut, il garde indéfiniment son mouvement ; on donne le nom d'*inertie* à cette propriété de la matière, en un mot son indifférence soit au mouvement, soit au repos. La matière ne se meut qu'en vertu de l'action des *forces* qui agissent sur elle ; les forces sont donc les causes qui déterminent, modifient ou même détruisent le mouvement.

Une force qui détermine le mouvement d'un corps se caractérise ou se définit par la connaissance des trois données suivantes : 1° le *point d'application*, c'est-à-dire le point sur lequel elle agit ; 2° la *direction* que prend le corps mis en mouvement ; 3° l'*intensité* de la force agissante.

Les forces, quelle que soit l'idée qu'on en ait, peuvent se mesurer exactement et se comparer entre elles en se basant sur les principes de mécanique qui s'énoncent de la manière suivante :

1° Deux forces sont égales lorsque, placées exactement dans les mêmes conditions, elles produisent des effets identiques ; ou en détruisent une même troisième, qui leur est directement opposée.

2° *Les forces sont proportionnelles aux degrés de vitesse qu'elles impriment, dans des temps égaux, à une même masse qui cède librement à leur action dans la direction de cette action.*

3° *Les forces sont proportionnelles aux masses auxquelles elles impriment des vitesses égales dans des temps égaux.*

Faisant abstraction du temps pour les forces instantanées, si nous faisons agir une force ($f = 1$) sur une masse ($m = 1$) et qu'elle soit capable de lui donner une vitesse ($v = 1$), nous aurons :

$$f = mv = 1 \times 1 = 1.$$

Comparons-lui une force double $f' = 2$; faisons la agir sur la masse ($m = 1$) ; la vitesse qui sera imprimée à la masse (m) sera ($v' = 2$).

$$f' = mv' = 1 \times 2 = 2,$$

mais la même force ($f' = 2$) étant appliquée à une masse ($m' = 2$), ne pourra lui communiquer qu'une vitesse ($v = 1$).

$$f' = m'v = 2 \times 1 = 2 \text{ ; donc :}$$

$$\frac{f}{f'} = \frac{mv}{mv'} = \frac{mv}{m'v} = \frac{1}{2}.$$

FORCES CONTINUES CONSTANTES.

Dans le mouvement accéléré produit par une force continue constante, la vitesse acquise est proportionnelle au temps (t), *le corps partant du repos,*

$$v = gt \qquad (3),$$

elle est représentée par le produit de l'accélération (g) *par le temps* (t).

L'accélération (g) *est constante.*

Quand on analyse les diverses circonstances du mouvement d'un corps soumis à l'action d'une force continue constante, il faut non-seulement considérer la vitesse, l'accélération et le temps, mais mesurer les espaces parcourus à un instant quelconque du mouvement.

Or, ces espaces sont parcourus, comme l'expérience le démontre, avec des vitesses uniformément variables et croissantes; il résulte nécessairement de cette uniformité d'accroissement de la vitesse, que la *vitesse moyenne* du mobile dans l'intervalle de temps que l'on considère, doit être précisément celle que le corps possédait au milieu de cet intervalle; mais puisque les vitesses sont proportionnelles aux temps comptés depuis l'origine du mouvement, la vitesse correspondante au milieu de l'intervalle sera précisément la moitié de la vitesse finale. Il est évident, d'ailleurs, que l'espace parcouru par le mobile, en vertu de la *vitesse variable et accélérée*, sera le même que celui qu'il eût parcouru d'un mouvement uniforme, en vertu de sa *vitesse moyenne*. Par conséquent, l'espace parcouru par un corps, partant du repos, sera égale à la moitié de l'espace qu'il parcourrait avec une vitesse uniforme qui serait la moitié de la vitesse finale ou de l'accélération (g) pendant le temps considéré (t). Sa vitesse moyenne (v) sera donc représentée par $\frac{gt}{2}$ que nous pouvons substituer à v dans la formule $e = vt$, d'où :

$$e = \frac{gt}{2} \times t = \frac{gt^2}{2}.$$

On peut arriver à la même donnée par des considérations un peu différentes et qui, sous forme condensée, peuvent s'exprimer de la manière suivante :

Un mobile partant du repos, c'est-à-dire animé d'une vitesse nulle, égale à O, mis en mouvement par une force accélératrice constante, doit parcourir un espace qui, nécessairement dans la première unité de temps, sera plus grand que O et plus petit que (g), si g représente l'accélération pendant ce temps infiniment court; or, puisqu'il est prouvé par l'expérience que l'accélération est constante, l'espace parcouru sera la moyenne de ces deux valeurs O et g ou $\frac{g}{2}$; il est du reste prouvé par l'expérience que l'espace parcouru pendant la première unité de temps par un corps qui tombe *librement*, est égal à la moitié de la vitesse que le corps acquerrait pendant ce temps. Dans le mouvement uniforme,

l'espace $\frac{g}{2}$ étant égal à la vitesse multipliée par le temps, nous avons $\frac{g}{2} = vt$, formule dont on déduira la valeur $v = \frac{gt}{2}$, qui sera la vitesse moyenne uniforme dans le temps considéré; et puisque nous pouvons substituer à la vitesse accélérée ($v = gt$) une vitesse uniforme $\frac{gt}{2}$, en remplaçant v, dans la formule $e = vt$ (1), par $\frac{gt}{2}$, on a nécessairement l'espace en multipliant la vitesse $\frac{gt}{2}$ par le temps t, ou

$$e = \frac{gt}{2}\, t = \frac{gt^2}{2} \qquad (4).$$

En langage ordinaire, nous dirons : *l'espace parcouru par un mobile primitivement au repos, soumis à une force accélératrice constante, est égal à la moitié du produit de l'accélération par le carré du temps employé à le parcourir.*

En d'autres termes : *les espaces parcourus sont proportionnels aux carrés des temps employés à les parcourir.*

La formule (4) $e = \frac{gt^2}{2}$ peut encore s'écrire sous la forme :

$$e = \frac{v^2}{2g} \qquad (4\ bis)$$

en remplaçant t^2 par sa valeur $\frac{v^2}{g^2}$.

Ces lois posées, nous devons en arriver très-simplement à la mesure des forces continues constantes. Mais, comme nous l'avons déjà vu, lorsque nous avons défini ce que l'on entend par quantité de mouvement, puisque la *masse* entre dans l'expression qui donne la mesure des forces, nous devons définir scientifiquement ce que l'on entend par masse des corps.

On dit souvent : *la masse d'un corps est la quantité de matière que ce corps renferme*, mais cette définition n'a réellement aucune signification, à moins de considérer des cas particuliers, des forces données; elle laisse beaucoup à désirer.

La quantité de matière, que l'on pourrait nommer la *masse absolue*, que renferme un corps donné ne varie pas. Quelles que soient les circonstances dans lesquelles on place ce corps, il reste, comme corps, identique à lui-même, c'est-à-dire sans perte, sans augmentation de matière.

Mais deux corps de nature différente peuvent avoir des masses égales, une sphère de plomb et une sphère de cuivre, par exemple, et on en arrive à dire que : *les masses égales sont celles qui ont le même poids.*

Nous poserons d'abord en principe, en faisant abstraction de la nature de la

force agissante : *deux masses sont égales quand elles reçoivent dans le même temps des accélérations égales, lorsqu'elles sont soumises à l'action de forces égales.*

La notion de masse n'est pas subordonnée à une force déterminée, car il résulte du principe précédent qu'elle doit toujours conserver la même signification, quelle que soit la force considérée ; comme la force de l'attraction terrestre est celle que l'on a toujours le plus facilement à sa disposition, et, en même temps, celle qui se mesure le plus facilement et avec la plus grande exactitude; comme l'effet de cette attraction peut se mesurer par l'accélération qu'un poids donné (p) imprime à l'unité de masse; nous emploierons la force de l'attraction terrestre pour y rapporter les autres.

On mesure les forces par les effets qu'elles produisent, l'unité de force est donc absolument indifférent; ce qu'il y aura donc de plus simple, sera de choisir comme unité : la force capable de produire un effet égal à l'unité, c'est-à-dire celle qui communiquera à *l'unité de masse* une accélération égale à l'unité.

On prend pour unité de masse : la masse qui, sollicitée par une force représentée par un kilogramme, prend une accélération égale à un mètre en une seconde.

Un kilogramme d'eau, c'est-à-dire un décimètre cube d'eau à 4° C., prend, en tombant *librement*, c'est-à-dire *dans le vide*, en Belgique, une accélération de $9^{m}8108$, par conséquent $9^{k}8108$, ou 9,8108 décimètres cubes d'eau prendraient, sous l'influence d'une force égale à 1 kilogramme, une accélération de un mètre; donc, l'unité de masse est celle qui est représentée par 9,8108 décimètres cubes d'eau à 4° C. Mais le poids absolu d'un corps quelconque augmente à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur terrestre, et il diminue, au contraire, pour le même lieu, par l'altitude. Cette diminution de poids ou cette augmentation se fait absolument dans le même rapport que l'intensité de la pesanteur ou l'accélération g ; c'est-à-dire que si un poids (p), placé à différentes latitudes et à des altitudes différentes, devient successivement p', p'', p''', etc., p sous l'influence de g', g'', g''', etc... g, on aura :

$$\frac{p'}{g'} = \frac{p''}{g''} = \frac{p'''}{g'''} \text{ etc.} \ldots = \frac{p}{g},$$

rapport invariable, exactement comme la matière d'un corps considéré reste invariable.

Il résulte de cette donnée que l'on commettrait, en mécanique, des erreurs graves dans les calculs, en prenant les poids pour la mesure de la masse.

Concluons donc en définissant d'une façon générale : *La masse* (m) *d'un corps est le rapport constant qui existe entre une force continue constante* (f) *et l'accélération* (g) *qu'elle produit quand elle est appliquée au corps considéré.*

$$m = \frac{f}{g} \qquad (5),$$

donnée qui nous permet de caractériser la force par la formule :

$$f = mg \qquad (5\ bis),$$

d'où l'on conclut que : *une force continue constante a pour mesure le produit de la masse du corps, sur lequel elle exerce son action, par l'accélération qu'elle imprime à cette masse.*

L'accélération (g) *d'une force sera donc directement proportionnelle à l'intensité de la force* (f) *et en raison inverse de la masse du corps auquel elle est appliquée.*

$$g = \frac{f}{m} \qquad (6).$$

La formule $fe = \frac{mv^2}{2}$, à laquelle nous sommes arrivés (§ 2), nous montre que : *le produit de l'intensité d'une force constante par le chemin parcouru, en vertu de l'action de cette force, par le corps auquel elle est appliquée depuis l'origine et dans le sens de la direction du mouvement, est égal à la moitié du produit de la masse de ce corps par le carré de la vitesse dont le corps est animé à l'instant considéré.*

En d'autres termes : le produit de la force (f) par le chemin (e) parcouru par le mobile dans la direction de cette force a reçu le nom de *travail* en mécanique; on dit aussi *force vive,* expression que l'on applique au produit mv^2 seulement; aujourd'hui quelques physiciens laissent à l'expression de *force vive* la même valeur qu'à celle de *travail* et disent, par convention : *la force vive est égale au travail.*

$$fe = \frac{mv^2}{2} \qquad (7).$$

Demandons maintenant quel effort nous aurons à faire, quel travail nous aurons à exécuter pour soulever un poids (p) à une hauteur (h)? Cet effort sera nécessairement représenté par le produit du chemin parcouru par le poids (p) à élever ou la force (f) à vaincre multipliée par l'espace ; or, l'espace (e) est ici la hauteur donnée (h),

d'où $f = p$ dans ce cas particulier,

$$e = h = \frac{v^2}{2g}$$

$$fh = ph$$

mais $f = mg$

et $p = mg$

donc $\frac{p}{g} = m$

et en remplaçant f par sa valeur p et h par e ou sa valeur $\frac{v^2}{2g}$ (4 *bis*), nous aurons :

$$fe = ph = \frac{pv^2}{2g} \qquad (8),$$

remplaçant $\frac{p}{g}$ par m et p par mg, nous obtenons les expressions suivantes :

$$fe = ph = \frac{pv^2}{2g} = \frac{mgv^2}{2g} = \frac{mv^2}{2}.$$

---

§ 4. *Conservation de la force.— Corrélation des forces.— Transformation des forces. — Toute puissance terrestre vient du soleil. — Principes de la thermodynamique.*

Ces préliminaires posés, rendons-nous bien compte de ce qu'il faut entendre par *force* et *matière*, principalement au point de vue de leur conservation. Un principe fondamental domine tout dans les phénomènes, tant dans les phénomènes chimiques que dans ceux qui sont du domaine de la mécanique ou de la physique :

Nihil ex nihilo, nihil in nihilum.

C'est la grande maxime des anciens philosophes appliquée non-seulement à la matière, mais aux agents physiques, aux forces :

At quoniam supera docui, nil posse creari
De nihilo, neque quod genitum est, ad nil revocari.
(T. Lucretii Cari *de Rerum Natura*, lib. I, v. 544.)

En d'autres termes : L'homme ne crée pas du *travail*, ne crée pas de *force vive*, pas plus qu'il ne lui est donné de créer de la matière ; la matière, comme la force, considérées dans la nature, sont invariables, éternelles; l'homme puise dans ce qui existe, mais incapable de créer, il transforme, il utilise; parfois, souvent même, il abuse. Quoi qu'il en soit, les forces naturelles capables de produire du travail, etc., se conservent éternellement, mais il est donné à l'homme de les transformer, de les métamorphoser les unes dans les autres; pour résoudre ces grands problèmes, il ne doit qu'étudier cette admirable poésie des lois éternelles et immuables de la nature et chercher à tirer profit des immenses ressources que le Créateur a mis à sa disposition.

Un seul exemple suffira pour bien nous convaincre de ces transformations.

Le soleil est une source inépuisable de force; feu, chaleur, lumière, effets chimiques de combinaison et de décomposition, électricité statique, électricité dynamique, magnétisme, mouvement, puissance mécanique, tout, en définitive, nous vient de cet astre ; si les manifestations de sa puissance présentent une variété infinie, il n'en est pas moins vrai que nous pouvons dire hardiment : *Toute puissance terrestre vient du soleil.*

Mais ce serait trop nous écarter de notre sujet que de nous arrêter à poser

les principales transformations de cette immense puissance du soleil dans l'ordre purement matériel ou de suivre pas à pas quelques-unes de ces transformations, souvent des plus inattendues ; il faut, pour en avoir une idée complète, recourir aux œuvres de Jules Robert Mayer, de Joule, Helmholtz, Hirn, Thompson, Clausius, et tant d'autres savants, dont les travaux ont été si admirablement résumés et étendus dans l'ouvrage de John Tyndal : *La chaleur considérée comme un mode de mouvement ;* ajoutons seulement que l'on peut, en restant dans les termes de la plus grande exactitude scientifique, étendre, même à l'ordre moral, les données de la transformation des forces. Voici, en effet, ce que M. Tyndal ajoute, après un examen de la puissance du soleil : *Dans ces jours, hélas! force est de nous familiariser avec les nouvelles des champs de bataille : or, chaque charge de cavalerie, chaque choc entre deux corps d'armée est l'emploi ou l'abus de la force mécanique du soleil.*

Nous nous rendons parfaitement compte des transformations de la matière ; en général, la transformation des forces demande plus d'étude, plus de réflexion pour être comprise, et cependant on prouve que l'attraction, le mouvement, la chaleur, l'électricité statique, l'électricité dynamique, le magnétisme, les forces dites chimiques se substituent, se transforment, se métamorphosent ; ces forces, ces agents naturels se mesurent avec exactitude et s'équivalent si on les met en action dans certains rapports déterminés, fixes et immuables.

Mais en vue de la donnée de notre travail, nous avons un intérêt particulier à ne nous arrêter qu'à l'une des transformations des forces naturelles : celle du mouvement ou d'effet et de puissance mécanique en chaleur sensible, et vice-versâ celle de la chaleur en mouvement ou en effet et puissance mécanique. Nous aurons surtout à tenir compte des mouvements sensibles désignés plus particulièrement sous le nom de mouvements de translation, laissant en dehors de notre examen les mouvements moléculaires, oscillatoires ou vibratoires, etc.

Examinons donc les relations qui peuvent exister entre la chaleur et le travail et posons les principes de la théorie mécanique de la chaleur ou de la thermodynamique.

PRINCIPES DE LA THERMODYNAMIQUE.

I. — Toutes les fois que la chaleur, en agissant sur un corps quelconque, solide, liquide ou gazeux, produit un travail mécanique qui est recueilli en dehors de ce corps, il disparaît une quantité de chaleur proportionnelle au travail produit.

II. — Réciproquement, toutes les fois qu'un travail mécanique est utilisé ou consommé en actions quelconques sur un corps solide, liquide ou gazeux, il apparaît une quantité de chaleur proportionnelle à ce travail.

III. — Il existe un rapport constant entre les quantités de chaleur disparues ou apparues et les quantités de travail produites ou consommées.

En d'autres termes, le travail détruit, ou le mouvement arrêté, se transforme en chaleur ; la chaleur détruite se transforme en travail ou en mouvement.

Il existe un rapport constant unique entre les quantités de chaleur et les quantités de travail qui apparaissent ou qui disparaissent dans les phénomènes.

Ces principes sont résumés dans les deux formules suivantes :

$$\frac{T}{C} = E = 425 \text{ Kgm} : \text{équivalent mécanique de la chaleur.}$$

$$\frac{C}{T} = \frac{1}{E} = \frac{1}{425} : \text{équivalent calorifique du travail.}$$

Faisant abstraction des valeurs numériques, on peut énoncer ces principes sous la forme simple :

Chaleur = Effet mécanique

comme l'illustre docteur J.-R. Mayer l'a énoncé le premier.

C'est dans ces principes et dans ces relations aussi simples que grandioses et poétiques, que M. Coze puise les arguments qui l'amènent à admettre la fusion des balles de plomb dans les plaies des armes à feu ; mais nous verrons ce qu'il faut penser de ces assertions, quand nous aurons prouvé, par le calcul et par l'expérience, qu'il en fait une application complètement erronée.

---

§ 5. *Unités de mesure. — Dyname ou kilogrammètre. — Calorie. — Température. — Froid absolu. — Démonstration et place du zéro absolu. — Détermination de sa position par rapport au thermomètre centigrade. — Limites de la vie eu égard à la température.*

On mesure le travail en le rapportant à une unité à laquelle on donne le nom de *kilogrammètre* ou *dyname* ; le dyname exprime l'effort qu'il faut exercer pour élever un kilogramme à un mètre de hauteur ; il équivaut à un effort d'un kilogramme exercé sur un parcours d'un mètre; quant au terme *cheval vapeur*, il équivaut à 75 dynames ; dans ce cas, on tient en général compte du temps. Le cheval vapeur correspond à un travail capable d'élever 75 kilogrammes à un mètre de hauteur ou un kilogr. à 75 mètres de hauteur, en une seconde.

On donne le nom de *calorie à la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré centigrade la température d'un kilogramme d'eau prise à 0 degré, la température de la glace fondante.*

On appelle *température* d'un corps l'état d'un corps considéré comme chaud ou froid ; mais dans la théorie mécanique de la chaleur une définition exacte est préférable ; en effet, les relations entre la chaleur et le travail impliquent, pour *la chaleur, l'idée de force*, c'est-à-dire d'une cause de mouvement, une cause d'altération ou de destruction de mouvement. On peut donc définir l'état chaud ou froid d'un corps en disant : *La température d'un corps est l'intensité actuelle de la force calorique* (Hirn).

Cette définition ne permet pas que l'on perde de vue les rapports qui existent entre la chaleur et le travail ou le mouvement ; elle implique une donnée de la plus haute importance. Elle nous conduit à admettre qu'il doit exister un état tel, que la matière puisse être considérée comme ne renfermant plus de *force calorique*, dans cet état, nous aurions le repos absolu, absence de tout mouvement interne, de vibration, d'ondulation, de rotation ou de translation ; en d'autres termes, si l'on pouvait s'exprimer ainsi, ce serait le *repos absolu*, équivalent à la mort absolue dans la nature.

Rien n'est plus simple et en même temps plus important que de bien se rendre compte qu'il doit exister un 0° absolu de température.

En effet, il est *prouvé* qu'une *quantité* donnée de chaleur se transforme en une *quantité* déterminée de mouvement ; et qu'à son tour le mouvement se transforme en chaleur ; nous sommes amenés à admettre nécessairement que si nous représentons le *repos absolu* par 0, nous devrons arriver à un état particulier pour lequel la chaleur contenue actuellement dans un corps sera représentée par 0, c'est-à-dire le *froid absolu ;* tandis que dans l'ancienne physique on était obligé d'admettre que la *quantité* de chaleur renfermée dans un corps était infinie. Disons de suite, sans entrer dans les développements que la question comporte, que l'existence et la place de ce 0° absolu sont vérifiées par le calcul et l'observation, de façon à ne laisser aucun doute sur sa réalité. L'époque n'est pas éloignée où nous nous servirons de l'échelle absolue à l'exclusion de toutes les autres ; le 0° absolu (0°A.) est donné par la fraction $-\frac{1}{0{,}003665} = -272°{,}85$ du thermomètre centigrade, c'est-à-dire par le rapport de l'unité et le coefficient à volume constant de la dilatation des gaz permanents, l'air par exemple ; on dira plus tard, et je le dis souvent dans mes leçons, la glace fond à la température de 0°C. ou 272°,85 A. ; l'eau bout à 100° C. ou 372°,85 A., sous la pression barométrique normale de $0^{m},760$.

Les questions de chaleur ont une si haute importance en médecine de même qu'en mécanique, qu'il ne me semble pas inutile de signaler les données qui ont conduit à déterminer la position exacte, c'est-à-dire la valeur en degrés du thermomètre centigrade de ce 0° absolu. Choisissons un exemple des plus simples.

Enfermons dans un vase solide un volume d'un gaz permanent : hydrogène, oxygène, azote, air, etc. ; représentons ce volume par l'unité et munissons notre vase d'un appareil quelconque pouvant nous donner la mesure de la force avec laquelle le gaz presse sur les parois du vase, un manomètre quelconque indiquant la tension du gaz. Nous supposerons, pour plus de facilité, que les parois sont absolument inextensibles, c'est-à-dire que, par la chaleur ou par le froid, le volume de la capacité intérieure restera invariable, hypothèse que nous pouvons admettre afin d'éviter les calculs dus aux corrections dont nous aurions à tenir compte, etc...

Représentons aussi par l'unité la pression ou la tension supportée par les parois et admettons que la température actuelle du gaz soit égale à 0° du thermomètre centigrade.

Refroidissons notre vase autant qu'il est possible de le faire, c'est-à-dire depuis 0° jusque environ — 100° C. sous 0°, température la plus basse que nous puissions atteindre actuellement dans les laboratoires ; nous verrons que pour un abaissement de température de 1 degré, la pression sur les parois ou la tension diminue très-uniformément d'une même quantité, sensiblement $\frac{1}{273}$; laissons le vase se réchauffer, nous observerons que la tension repassera aux mêmes températures exactement au même point, de façon à ce que à 0° C. elle soit redevenue égale à 1 ; nous avons donc affaire à un phénomène qui nous semble présenter une loi de continuité ; nous ne sommes arrêtés que par notre impuissance à produire des froids supérieurs à 100° C. sous zéro.

Mais rien ne nous limite dans l'application de la chaleur, et nous pourrons graduellement élever la température de 0° C. jusqu'au point d'ébullition de l'eau ; chose remarquable, nous observerons la même loi de continuité, c'est-à-dire que, pour chaque degré d'élévation de température, la tension augmentera très-exactement de la même quantité, qui sera celle dont elle avait diminué dans notre première expérience.

Poussons la température jusque 273° C. très-sensiblement, et nous observerons que la tension, d'abord égale à 1 à 0° C., est devenue égale à 2 ; elle a doublé.

Or, la fraction dont la tension augmentait ou diminuait pour chaque degré de température, était égale à $1 \pm 0{,}00367$ multiplié par le nombre de degrés comptés en degrés centigrades : $1 + (273 \times 0{,}00367) = 1 + 1 = 2$, et puisque nous avons observé que le même coefficient est applicable jusqu'à 100° sous la glace fondante, nous aurons aussi : $1 - (273 \times 0{,}00367) \doteq 1 - 1 = 0$, c'est-à-dire qu'à 273° C., sous la température de la glace fondante, la force du gaz sur les parois serait nulle, il n'y aurait plus de travail, plus d'effort, plus de tension, plus de *force calorique* et on aurait le 0° absolu. Remarquons que la fraction 0,00367 est précisément ce que l'on désigne sous le nom de coefficient de dilatation des gaz permanents, et nous avons sensiblement :

Pour $\theta =$ 0° A = — 273° C. Tension = 0.
Pour $\theta =$ 273° A = — 0° C. Tension = 1.
Pour $\theta =$ 546° A = + 273° C. Tension = 2.

Le coefficient 0,003665 est un peu plus exact et donne au 0° absolu la position de 272°,85 C. sous la glace fondante.

On voit par ce simple exposé qu'il ne peut rester aucun doute sur le 0° absolu ; quoi qu'il en soit, nous nous servirons de l'échelle centigrade.

Les limites dans lesquelles je désire me borner ne me permettent pas de pousser l'examen de cette question des froids intenses plus loin. Je dirai cependant en deux mots que si tout mouvement, toute vie doit cesser en 0° A, c'est-à-dire à — 273° C. sous la glace fondante, nous pouvons cependant comprendre que la vie sur les planètes très-éloignées du soleil soit possible bien au dessous de notre 0° centigrade, bien entendu, avec des conditions autres que celles de notre terre.

Pour peu qu'on y réfléchisse, on entrevoit la possibilité de la vie dans ces mondes si froids, et on reste confondu devant ces vastes ressources de la création ; il ne reste que l'admiration.

J'ai prouvé du reste que la vie de la levûre de bière n'est pas détruite à 100° C. sous la congélation de l'eau.

---

§ 6. *Évaluation de la chaleur produite : par l'arrêt subit d'un corps en mouvement : par la terre arrêtée dans son orbite : par la chute de la terre sur le soleil. — De la formation des systèmes de mondes par la condensation des nébuleuses.*

MM. le Dr J. R. Meyer, Joule, Helmholtz et d'autres, considérant l'énorme quantité de force vive de notre système planétaire, considérant aussi que, de même que dans le cas du projectile, on peut transformer cette force vive en chaleur, ont calculé la température que notre terre acquerrait si elle était arrêtée tout à coup dans son orbite autour du soleil.

D'après M. Helmholtz, et en prenant le cas le moins favorable, c'est à-dire en admettant pour la terre (c) la capacité calorifique la plus forte, égale à celle de l'eau, qui est prise pour unité, trouve $\theta'' = 112{,}000°$ C. La terre serait fondue et vaporisée en grande partie ; la chaleur produite équivaudrait à la chaleur qui se dégagerait par la combustion d'une masse de charbon égale à 14 fois la masse de la terre.

Si la terre tombait ensuite sur le soleil, elle donnerait naissance à une quantité de chaleur 400 fois plus considérable encore, soit $112{,}000 \times 400 = 44{,}800{,}000°$ C.

Ces nombres paraissent énormes et exagérés quand on sait que les plus hautes températures, que nous soyons capables de produire à la surface du globe par la combustion d'un mélange d'hydrogène et d'oxygène, ne s'élèvent guère beaucoup au delà de 2,000° C. à 2,500° C., température de la fusion du platine, peut-être 2,800° et au maximum 3,000° C., d'après M. H. Sainte-Claire-Deville.

Mais ces questions de températures élevées sont encore assez mal connues aujourd'hui, et les physiciens ne s'entendent même guère sur la température du soleil, par exemple ; pour quelques-uns, la température du soleil se compterait par millions de degrés centigrades ; le R. P. Secchi l'estime à 10,000,000° C.,

M. Ericson à 5 millions, M. Spœrer à 27,000° C., tandis que la plupart des physiciens français, MM. Pouillet, Vicaire, Becquerel, Fizeau, H. Sainte-Claire-Deville, pensent que ces nombres sont exagérés et que la température du soleil ne s'élève guère au delà de celle de nos flammes les plus chaudes.

Quoiqu'il en soit de ces moyens d'appréciation, il ne peut rester aucun doute sur les *quantités de chaleur* que ces nombres énormes représentent.

Ainsi, si l'on admet l'hypothèse très-probable que notre système solaire provient de la condensation d'une nébuleuse, le résultat du calcul donné par M. Helmholtz prouve qu'il ne nous reste plus que 1/454 de la force originelle sous forme mécanique et que le reste a été changé en chaleur. Or, cette chaleur serait capable d'élever à 28,000,000° C. la température d'une masse d'eau égale à la masse totale du soleil et des planètes. Si une masse charbon équivalente à celle du soleil et des planètes était destinée à produire de la chaleur, elle ne dégagerait qu'une quantité de chaleur équivalente à 1/3500 de ces 28,000,000 de degrés.

Si je m'arrête un instant à ces données, qui paraissent nous éloigner de notre but, c'est pour bien poser la question de l'échauffement que nos projectiles de guerre montreraient s'ils étaient arrêtés tout à coup et amenés au repos; les calculs sont des plus simples et en tout semblables au fond à ceux que nous donnons sur l'arrêt des projectiles (1).

(1) Dans l'édition française du *Mémoire sur la conservation de la force, précédé d'un exposé élémentaire de la transformation des forces naturelles*, par H. Helmholtz, traduit de l'allemand par M. Louis Perard, professeur à l'université de Liége (Paris, V. Masson et fils, 1869), il s'est glissé une erreur typographique à la page 38. La température produite par l'arrêt de la terre est évaluée à 11200° C., c'est cent douze mille degrés qu'il faut lire ; ce nombre se rapproche beaucoup de 113757 que je trouve moi-même. Il m'a été impossible de voir toutes les données du calcul fait par M. Helmholtz, j'ajoute ici les données numériques calculées d'après la formule (10), § 7.

$$\theta'' = \frac{v^2}{2.E.g.c} = \frac{30800 + 30800}{2 \times 425 \times 9,8108 \times 1} = \frac{948640000}{8339,18} = 113757^\circ \text{ C.},$$

et en prenant la capacité calorifique la moins favorable ou la plus forte et égale à celle de l'eau, ce qui donne 8339,18 pour diviseur, tandis que la capacité calorique terrestre ne s'élève qu'à une fraction assez faible de celle de l'eau ; on ne se tromperait guère en disant qu'il est probable qu'il y aurait à multiplier 113757 par 10, soit 1137570° C. On s'aperçoit directement, vis-à-vis de nombres aussi considérables, même en admettant le plus faible ou 112000° C., qu'il n'y a même pas lieu à tenir compte du fait que nous vivons sur une croûte solide qui n'a qu'une épaisseur de 1/150e du rayon de la terre environ, et qu'au delà de cette faible croûte les corps les plus réfractaires sont à l'état liquide par suite de la température énorme des parties centrales ; on n'a pas fait entrer dans ce calcul l'anéantissement du mouvement de rotation de la terre sur son axe, quantité considérée aussi comme négligeable vis-à-vis de la donnée principale.

Mais ne confondons pas la *température* calculée pour un corps arrêté dans sa marche et

§ 7. *Formules qui donnent les relations entre les températures et le travail ; modèles de calculs et exemples numériques.*

Une formule très-simple va nous permettre de calculer la température que doit acquérir un corps d'une masse donnée si on l'arrête brusquement et que toute la quantité de force vive dont il est animé ou toute la quantité de travail, en un mot, soit anéantie et transformée totalement en chaleur au profit du mobile. N'oublions cependant pas que ce cas est absolument irréalisable à la surface de la terre ou dans la pratique.

La formule (8) nous donne la mesure du travail et nous connaissons les rapports entre le travail T et la chaleur C, représentant par Q la quantité de chaleur, nous aurons $Q = \frac{mv^2}{2E}$, c'est-à-dire que la force vive divisée par l'équivalent mécanique de la chaleur doit représenter toute la chaleur qui se produira au moment de l'arrêt instantané ou de la destruction du travail.

Cette quantité (Q) de chaleur sera nécessairement égale à la quantité de chaleur qu'il faut communiquer à un poids ($p = mg$) de ce corps multiplié par son calorique spécifique (c) et par la température cherchée (θ''), celle-ci se déduit de l'égalité

$$Q = \frac{mv^2}{2E} = m.\,g.\,c.\,\theta'' \qquad (9),$$

dans laquelle tout est connu, sauf θ'', d'où l'on déduit :

$$\theta'' = \frac{v^2}{2\,E\,g.\,c} \qquad (10),$$

en langage ordinaire : *la température sera donnée en divisant le carré de la vitesse par le double de l'équivalent mécanique de la chaleur* (2 E), *multiplié par l'intensité de la pesanteur* (*l'accélération due à la pesanteur*) (g) *et par le calorique spécifique* (c) *du corps considéré.*

la quantité totale de chaleur que ces nombres énormes représentent. Cette question sera traitée à propos d'un calcul analogue sur la balle de plomb au § 11.

Il faut bien remarquer que si nous connaissons le froid absolu d'une manière positive, il nous est absolument impossible, dans l'état actuel de la science, de mesurer des températures s'élevant au delà du point de fusion des corps les plus réfractaires, et on arrive nécessairement à se demander s'il peut exister une température absolue qui serait telle, qu'au delà de cette limite supérieure, la chaleur n'agirait plus sur les corps ; ceux-ci nécessairement auraient été amenés à l'état de gaz, non susceptibles de se dilater et occupant un volume immuable.

Il me paraît, dans tous les cas, préférable de transformer ces températures, qui se comptent par millions de degrés en quantités de chaleur mesurées en calories, représentant des poids déterminés de matières données élevées jusqu'à leur point de fusion ou fondues, comme on le verra plus loin (page 30).

Prenons un exemple numérique et supposons une vitesse (v) égale à 320 mètres, vitesse de la balle de 40 grammes du fusil suisse, citée par M. Coze (1), nous aurons, en prenant (θ), la température initiale, égale à 0° C. :

$$\theta'' = \frac{320 \times 320}{2 \times 425 \times 9{,}8108 \times 0{,}0314},$$

$$\theta'' = \frac{102400}{261{,}85025200},$$

$$\theta'' = 391 \text{ degrés centigrades.}$$

Mais le plomb fond à la température de 325° C., et nous avons admis qu'au moment du choc la température (θ) du projectile était de 0° C., donc sa température, même dans cette condition, s'élèverait à 391 — 325 = 66° C. au delà du point de fusion, et, par conséquent, la balle de plomb doit fondre en tout ou en partie.

Est-il nécessaire de faire remarquer que l'élévation de température ne dépend en aucune façon du poids du projectile (p) qui a été remplacé dans la formule par (mg) qui le représente.

---

§ 8. *Vitesse que l'on doit imprimer à un projectile de plomb pour qu'il atteigne, au moment de l'arrêt, la température de sa fusion, mais en restant solide.*

La formule (9) : $\frac{mv^2}{2\,\mathrm{E}} = mgc\,\theta''$ peut aussi nous donner la vitesse qu'il faut imprimer à un projectile de plomb pour l'amener à son point de fusion sans le liquéfier, c'est-à-dire de 0° à 325.

$$v^2 = \theta'' \times 2 \times \mathrm{E} \times g \times c \qquad (11).$$

$$v^2 = 325 \times 2 \times 425 \times 9{,}8108 \times 0{,}0314 = 85101{,}25.$$

$$v = \sqrt{85101{,}25}.$$

$$v = 291^{m}75.$$

Ainsi, un projectile de plomb animé d'une vitesse de 292 mètres par seconde environ qui, au moment de l'arrêt, se trouverait à la température de la glace fondante, pourrait acquérir, toute sa *force vive* étant transformée en *force calorique* ou, en d'autres termes, en chaleur sensible, la température de 325° C., mais il conserverait l'état solide.

Si le mobile de plomb, au moment de l'arrêt, possédait une température supérieure à 0° C., la vitesse à imprimer serait moindre et on la calculerait par la formule :

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences,* séance du 13 novembre. (*Moniteur belge,* d'après le *Journal des Débats*, 25 novembre 1871.)

$$v^2 = (\theta'' - \theta) \times 2 \times \mathrm{E} \times g \times c \qquad (12).$$

$$v^2 = (325 - \theta)\, 2 \times 425 \times 9{,}8108 \times 0{,}0314,$$

θ étant la température au moment du choc, d'où

$$v = \sqrt{(325 - \theta)\, 2 . g . \mathrm{E} . c.}$$

$$v = \sqrt{(325 - \theta)\, 261{,}85.}$$

---

§ 9. *Tableau résumant les données des §§ 7 et 8.*

Valeur de θ. Température du mobile au moment de l'arrêt subit, en degrés C.	Élévation de température (325 — θ) produite par l'arrêt subit.	Vitesse correspondante en mètres (A).	Force vive pour la balle conique de plomb de 40 gr. (B.)	Hauteur de chute dans le vide donnant la vitesse. (C) (*).	Temps de chute en secondes. (D.) ″	Quantité de chaleur correspondante en calories. (E)
0°C.	325°C.	291.7	175.5	4337	29.73	0.408
10	315	287.2	168.1	4204	29.27	0.396
20	305	282.6	162.8	4070	28.81	0.383
30	295	277.9	157.5	3937	28.33	0.371
40	285	273.2	152.1	3803	27.84	0.358
50	275	268.3	146.8	3670	27.35	0.345
60	265	263.4	141.5	3536	26.85	0.333
70	255	258.4	136.1	3403	26.34	0.320
80	245	253.3	130.8	3270	25.82	0.308
90	235	248.1	125.4	3136	25.28	0.295
100	225	242.7	120.1	3003	24.74	0.283
110	215	237.3	114.8	2869	24.18	0.270
120	205	231.6	109.4	2736	23.61	0.257
130	195	226.0	104.1	2602	23.03	0.245
140	185	220.1	98.8	2469	22.43	0.232
150	175	214.1	93.4	2335	21.82	0.220
160	165	207.9	88.1	2202	21.19	0.207
170	155	201.5	82.7	2068	20.53	0.195
180	145	194.9	77.4	1935	19.86	0.182
190	135	188.0	72.1	1802	19.16	0.170
200	125	180.9	66.7	1668	18.44	0.157
210	115	173.5	61.4	1535	17.69	0.145
220	105	165.8	56.0	1401	16.90	0.132
230	95	157.7	50.7	1268	16.08	0.119
240	85	149.2	45.4	1134	15.21	0.107
250	75	140.1	40.0	1001	14.28	0.094
260	65	130.5	34.7	867	13.30	0.082
270	55	120.0	29.4	734	12.23	0.069
280	45	108.6	24.0	601	11.06	0.057
290	35	95.7	18.7	4[illegible]7	9.76	0.044
300	25	80.9	13.3	334	8.25	0.031
310	15	62.7	8.01	200	6.59	0.019
320	5	36.2	2.67	66.7	3.[illegible]9	0.0063
321	4	32.4	2.14	53.4	3.30	0.0050
322	3	28.0	1.60	40.0	2.86	0.0038
323	2	22.9	1.07	26.7	2.33	0.0025
324	1	16.2	0.534	13.3	1.65	0.0013
324.1	0.9	15.4	0.480	12.0	1.56	0.0011
324.2	0.8	14.5	0.427	10.7	1.48	0.0010
324.3	0.7	13.5	0.374	9.34	1.38	0.00088
324.4	0.6	12.5	0.320	8.01	1.28	0.00075
324.5	0.5	11.4	0.267	6.67	1.17	0.00063
324.6	0.4	10.2	0.214	5.34	1.04	0.00050
324.7	0.3	8.9	0.160	4.00	0.91	0.00038
324.8	0.2	7.2	0.107	2.67	0.74	0.00025
324.9	0.1	5.1	0.053	1.33	0.52	0.00013
325	0	0	0	0	0	0

FORMULES EMPLOYÉES ET OBSERVATIONS.

(A) $v = \sqrt{2g\mathrm{E}c\,(325 - \theta)}$ (11).

(B) $\mathrm{T} = \frac{mv^2}{2} = \frac{pv^2}{2g}$, d'où (8)

$\mathrm{T} = \frac{0.04\,(325 - \theta)\,2\,g\mathrm{E}c}{2\,g}$ ou

$\mathrm{T} = 0.04.\ \mathrm{E}c\,(325 - \theta)$.

On trouve que la force vive de la balle correspond à très-peu près à 8 kgm pour une élévation de température de 15° ou $\frac{8}{15}$ kgm pour 1°.

(C) $h = \frac{v^2}{2g}$ (4 *bis.*)

D'où $h = \mathrm{E}c\,(325 - \theta)$.

On trouve à très-peu près 40 m. de hauteur de chute pour un accroissement de température de 3° ou $13\frac{1}{3}$ m. pour 1°.

(D) $t = \frac{v}{g}$

D'où $t = \sqrt{(325 - \theta)\,\frac{2\mathrm{E}c}{g}}$

(E) $\mathrm{Q} = \frac{mv^2}{2\mathrm{E}}$ (9)

ou $\mathrm{Q} = 0.04\,c\,(325 - \theta)$.

On trouve à fort peu près $\frac{1}{800}$ de calorie pour une augmentation de température de 1°.

(*) La balle sphérique de plomb, du poids de 27 grammes, ayant un diamètre de 0m,0167, tombant dans l'air d'une densité moyenne, ne peut acquérir qu'une vitesse maximum représentée par une hauteur de chute de 195m,8, c'est-à-dire de 62 m. par seconde (*).

(*) *Aide Mémoire à l'usage des officiers d'artillerie.* — page 909. — Edition de 1856.

§ 10. *Discussion des phénomènes qui se présentent si le projectile arrêté change d'état ; s'il se liquéfie ou s'il se volatilise. — Tableau et calculs donnant la quantité fondue, s'il ne fond que partiellement. — Température dans la masse en fusion, si celle-ci est complète.*

—

Le tableau précédent admet que le projectile de plomb reste solide, mais pour le faire changer d'état et le liquéfier, il faut, toutes choses égales d'ailleurs, lui imprimer une vitesse plus considérable, de façon à réaliser complètement la loi : *la force vive est égale à la quantité de chaleur.*

Pour bien nous rendre compte de tous les phénomènes qui peuvent se produire, reprenons l'exemple numérique donné à la suite de la formule (9) : $\frac{mv^2}{2\mathrm{E}} = mgc\,\theta''$, et demandons-nous :

1° A quelle température faut-il porter la balle de plomb pour que la quantité de chaleur primitive du projectile, plus celle qui se produira par la destruction de la force vive, soit capable de fondre toute la masse du projectile sans élever sa température au delà du point de fusion.

2° Dans l'hypothèse où la chaleur produite ne serait pas suffisante pour le fondre en entier, quelle sera la quantité de matière fondue et de matière qui restera solide à 325° C.

3° Faisons varier la vitesse (v) et la température initiale (θ) au moment du choc et demandons-nous quelle sera la température acquise si la chaleur produite est plus que suffisante pour la simple fusion ; en un mot, de combien de degrés elle s'élèverait au delà de 325° C. dans la matière fondue.

Ces questions se résolvent avec la plus grande facilité en mesurant la chaleur totale absorbée. En effet, celle-ci se compose :

1° De la chaleur absorbée pour élever la température initiale (θ) jusqu'au point de fusion (325° C.) ; elle est représentée par :

$$mgc\,(325 - \theta).$$

2° De la chaleur rendue latente (C″) par la fusion du corps. Cette chaleur semble disparaître et disparaît en effet, mais pour se transformer en *travail interne* destiné à écarter les molécules de plomb, à vaincre l'attraction, etc. ; n'oublions pas qu'elle sera restituée intégralement lorsque le liquide repassera à l'état solide ; quoi qu'il en soit, cette quantité de chaleur, rendue latente et employée à produire un travail interne, sera représentée par :

$$mg\mathrm{C}''.$$

3° Le calorique spécifique des corps (c) varie avec la température et avec l'état (solide ou liquide) en représentant celui du plomb liquéfié par c', nous aurons l'expression de cette quantité sous la forme

$$mgc'(\theta''' - 325).$$

La somme de ces trois quantités sera égale à la somme de force vive détruite

$$\frac{mv^2}{2E} = mgc(325 - \theta) + mgC'' + mgc'(\theta''' - 325). \qquad (12)$$

Cette égalité nous permet de répondre aux questions posées.

Des calculs très-simples nous apprennent :

1° Un projectile de plomb, animé d'une vitesse de 320 mètres par seconde, devrait posséder, au moment du choc, une température de 105° C., pour qu'il soit complètement fondu au moment de la transformation de la force vive dont il est animé. En effet de la formule $\frac{mv^2}{2E} = mgc(325 - \theta) + mgC''$, comprise dans la formule complète (12), on tire la valeur

$$\theta = 325 - \frac{v^2 - 2EgC''}{2Egc} = 325 - 220 = 105^\circ\,C.$$

Cette valeur, 105° C., une fois déterminée pour la température que devrait posséder le projectile animé d'une vitesse de 320^m au moment du choc, nous fait voir de suite que lorsqu'il est arrêté et qu'il ne possède qu'une température inférieure, il n'y a qu'une fraction du projectile qui se liquéfie; cette fraction sera d'autant plus forte que l'on se rapprochera davantage de 105° C., température pour laquelle elle est égale à l'unité; cette fraction $\frac{a}{b}$ de mgC'', sera donnée par

$$\frac{a}{b} = \frac{v^2 - 2Egc \times 325}{2Egc''} = \frac{102400 - (850 \times 9{,}8108 \times 0{,}0314 \times 325}{850 \times 9{,}8108 \times 5{,}369}.$$

$$\frac{a}{b} = \frac{102400 - 85101{,}25}{44773{,}06} = \frac{17298{,}75}{44773{,}06} = \frac{3866}{10000} = \frac{a}{b} = 0{,}3866,$$

le projectile étant à 0° C.

Si la température, au moment du choc, est θ, il faudra, à cette fraction, ajouter le rapport du calorique spécifique du plomb au calorique latent de fusion multiplié par la température θ, c'est-à-dire du projectile au moment où il sera arrêté :

$$\frac{c}{C''} \times \theta = \frac{0{,}0314}{5{,}369} \times \theta = 0{,}00585 \times \theta.$$

En prenant pour θ les températures 105° C., 100°, 90° etc..., 0, on obtient :

$$105 \times 0{,}00585 + 0{,}3866 = 0{,}61425 + 0{,}3866 = 1{,}0000$$
$$100 \times 0{,}00585 + 0{,}3866 = 0{,}58500 + 0{,}3866 = 0{,}9716$$
$$90 \times 0{,}00585 + 0{,}3866 = 0{,}5265 + 0{,}3866 = 0{,}9131$$
$$80 \times 0{,}00585 + 0{,}3866 = 0{,}4680 + 0{,}3866 = 0{,}8546$$
$$70 \times 0{,}00585 + 0{,}3866 = 0{,}4095 + 0{,}3866 = 0{,}7961$$
$$60 \times 0{,}00585 + 0{,}3866 = 0{,}3510 + 0{,}3866 = 0{,}7376$$

$$50 \times 0{,}00585 + 0{,}3866 = 0{,}2925 \quad + 0{,}3866 = 0{,}6791$$
$$40 \times 0{,}00585 + 0{,}3866 = 0{,}2340 \quad + 0{,}3866 = 0{,}6206$$
$$30 \times 0{,}00585 + 0{,}3866 = 0{,}1755 \quad + 0{,}3866 = 0{,}5621$$
$$20 \times 0{,}00585 + 0{,}3866 = 0{,}1170 \quad + 0{,}3866 = 0{,}5036$$
$$10 \times 0{,}00585 + 0{,}3866 = 0{,}0585 \quad + 0{,}3866 = 0{,}4451$$
$$0 \times 0{,}00585 + 0{,}3866 = \quad 0 \quad + 0{,}3866 = 0{,}3866$$

Je résume ces données dans le tableau suivant en nombres ronds et fractions ordinaires pour la balle animée d'une vitesse de 320ᵐ au moment du choc :

Température du projectile au moment de son arrêt subit.	Quantité de plomb fondu à 325°	Quantité de plomb restée solide à 325°.	Quantité de plomb pour la balle de 40 grammes	
			Fondue.	Restée solide.
105° C.	Tout le projectile.	0	40	0
90°	9/10	1/10	36	4
62°	3/4	1/4	30	10
50°	2/3	1/3	26,66	13,34
20°	1/2	1/2	20	20
0°	2/5	3/5	16	24

La troisième question n'offre aucun intérêt, cependant nous donnerons comme modèle la question suivante. On demande la température θ''' que peut acquérir le plomb fondu d'une balle arrêtée brusquement et se trouvant, bien que solide encore, à la température (325) (θ') de la fusion de ce métal ; la vitesse de la balle étant de 320 mètres ; contentons-nous de dire que cette température θ''' sera donnée en ajoutant à la température de la fusion du plomb les rapports des caloriques spécifiques du plomb à l'état solide et à l'état liquide, multiplié par la différence de la température au moment du choc et celle que le projectile devrait avoir pour fondre sans changer de température.

$$\theta''' = 325 + \frac{0{,}0314}{0{,}0402} \times (325 - 105).$$
$$\theta''' = 325 + 171{,}84 = 496^\circ{,}84 \text{ C.}$$

---

§ 11. *Discussion et réfutation des opinions qui admettent la fusion des projectiles de plomb dans les plaies produites par les armes à feu. — Température à laquelle serait portée une balle de plomb animée d'une vitesse égale à celle de la terre dans son orbite et qui s'arrêterait tout à coup. — Calcul du poids de plomb qu'elle porterait à 325° C. — Calcul du poids de plomb qu'elle pourrait fondre. — Calories produites. — Travail détruit. — Prin-*

cipe essentiel perdu de vue dans le travail de M. Coze. — Exemple à l'appui pris dans la détermination de la chaleur animale.

—

Il faut maintenant que nous nous arrêtions à discuter les opinions émises par M. Coze.

On sait, par les *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris* (séance du 13 novembre 1871), que M. Larrey a présenté, de la part du savant professeur de Strasbourg, une note relative à la fragmentation des balles et à leur fusion probable dans les plaies d'armes à feu. Dans cette note, datée du 28 octobre, l'auteur cite trois observations cliniques à l'appui de son opinion et formule les conclusions suivantes :

« 1° Les balles, lorsqu'elles sont brusquement arrêtées par un corps dur, os, » pièce de monnaie, etc., peuvent se fragmenter, se morceler dans des pro- » portions telles que les blessés et les médecins mêmes ont pu croire quelque- » fois à l'emploi de balles explosibles, proscrites entre nations civilisées ;

» 2° Ce morcellement, cette fragmentation peut s'expliquer par la fusion » probable du métal qui, brusquement arrêté, transforme en chaleur le mou- » vement dont il est animé.

» Des faits analogues ont été consignés presque en même temps dans la » *Gazette médicale de Strasbourg* du 15 octobre, d'après un travail récent » sur les plaies d'armes à feu par un médecin allemand, le docteur Mühl- » hauser.

» La vérification reste à faire par des expériences, ajoute M. Larrey, pour » mettre fin surtout à la supposition ou à l'accusation de l'emploi de balles » explosibles. »

Il serait très-difficile, d'après ces conclusions, de se faire une idée exacte des opinions de M. Coze ; heureusement, un article, publié d'abord par le *Journal des Débats*, reproduit par le *Moniteur belge*, dans son numéro du 25 novembre 1871, nous permet de mieux suivre la pensée de l'auteur ; obligé d'emprunter les données à un journal périodique, je dois cependant faire remarquer que tout ce qui s'y trouve confirme les données des conclusions des *Comptes rendus* à tel point, qu'il est permis de supposer que le savant professeur de la Faculté de Strasbourg a dû au moins donner son consentement à l'impression de cet article. Il me sera permis, je crois, d'en signaler quelques passages et de présenter des objections qui poseront la question sur son véritable terrain.

On dit, en effet, dans cet article :

« Lorsqu'une balle rencontre un os dur, une pièce de monnaie, un bouton » d'habit, enfin un corps suffisamment résistant, sa vitesse est brusquement » anéantie et le mouvement du projectile est transformé en chaleur.

» La température engendrée est assez élevée pour fondre une portion de la » balle. Des parcelles de plomb fondu pénètrent dans les chairs, se refroi- » dissent et se solidifient. »

Les tableaux (pages 24, 26 et 27) renferment toutes les données; nous n'avons plus à y revenir, et chacun peut se rendre compte de ce qui doit se passer dans des cas déterminés.

Il me semble que M. Coze n'a pas cherché à se rendre un compte exact des phénomènes, très-complexes du reste, qui se produisent, car il suppose que la vitesse *est brusquement anéantie*, tandis que le projectile, très-peu élastique, mais élastique, frappe des corps plus ou moins élastiques eux-mêmes, les entraîne et leur communique une partie de sa vitesse; cette simple observation nous force à dire qu'il y a erreur et confusion complète des phénomènes mécaniques et calorifiques.

Si les choses se passaient comme M. Coze l'admet, il faudrait :

1° Que le corps frappé fût absolument inébranlable.

2° Qu'aucun mouvement, moléculaire ou sensible, ne soit communiqué aux molécules de l'obstacle directement atteintes par le projectile.

3° Que le projectile ne subisse aucune déformation, soit temporaire, soit permanente; qu'il puisse être considéré comme ne jouissant d'aucune élasticité; qu'il soit, comme le disaient les anciens mécaniciens, absolument sans ressort.

4° En un mot, si toute la force vive se transformait en chaleur sensible et en chaleur rendue latente par la fusion, l'homme atteint et protégé par un bouton, ne devrait pas être touché, aucune blessure ne serait possible.

Pour trancher définitivement la question théorique, je crois devoir faire observer expressément que, lorsque j'ai rapporté les calculs de MM. P.-R. Mayer et Helmholtz, on a dû remarquer qu'aucun obstacle n'intervient; on suppose la vitesse purement et simplement anéantie sans choc, sans obstacle frappé.

Une balle de plomb marchant dans le vide, animée d'une vitesse égale à celle de la terre dans son orbite, venant à être arrêtée, acquerrait une température de 3622837° C., car la terre possède une vitesse d'environ 1/10000 de la vitesse de la lumière, soit 7,7 lieues de 4,000^{m} par seconde ou 30,800^{m}. En effet,

$$\theta'' = \frac{v^2}{2\,\mathrm{E}gc} = \frac{30800 \times 30800}{261,85} = \frac{948640000}{261,85} = 3622837^\circ\ \mathrm{C}.$$

Ce nombre de 3620000° C. paraît énorme, surtout lorsque l'on considère que la température maximum que nous puissions produire ne s'élève guère qu'à 2,500° environ.

On obtiendra une mesure qui saute mieux aux yeux en calculant par la formule (9) la quantité de chaleur totale que développerait, par son arrêt subit, une balle de 40 grammes animée d'une vitesse de 30,800 mètres.

$$Q = 0^{k}040 \times 0,0314 \times 3622837^{\circ}\ C.$$

$$Q = 4550,4 \text{ calories.}$$

$$\frac{mv^2}{2E} = 4550,4 \text{ calories.}$$

$$\frac{pv^2}{2g} = 1935920 \text{ dynames.}$$

Cette quantité de chaleur porterait de 0° C. à 325° C., point de fusion du plomb, un bloc de plomb de 445^{k},89, et comme le phénomène serait produit par l'arrêt d'une balle de 40 grammes dans le bloc de plomb, on voit que ce poids représente 11147 fois le poids de la balle.

Si la même quantité de chaleur était destinée à fondre le plomb au lieu de le laisser solide, la quantité de plomb fondu ne s'élèverait pas à moins de 292^{k},200 ou 7305 fois le poids de la balle.

Pour la balle sphérique du poids de 26^{gr},5, dont je me suis servi dans mes tirs, 245^{k},3955 seraient portés de 0° C. à 325° C., ou 195^{k},5825 fondraient complètement.

On se représente mieux les phénomènes en transformant ces températures, impossibles peut-être, de millions de degrés en quantités de chaleur appliquées à chauffer ou fondre un métal analogue à celui de la balle (1).

Je prie mes lecteurs bienveillants de me pardonner cette digression ; avant d'analyser les faits sur lesquels j'appelle l'attention des chirurgiens, et principalement des chirurgiens militaires, qu'il me soit permis de signaler un principe qu'il ne faut jamais perdre de vue dans ces questions difficiles, et ce principe me paraît être complètement oublié dans les données de plusieurs des expérimentateurs qui s'occupent des plaies produites par les armes à feu.

Dans une expérience faite en vue de démontrer la proportionnalité entre le travail et la chaleur apparus ou disparus, il faut que le corps ou les corps soumis à l'observation se trouvent, à la fin de l'expérience, dans le même état qu'au commencement de l'expérience et que l'on puisse tenir compte et mesurer avec exactitude tout ce qui se perd inévitablement ou accessoirement en travail ou en chaleur, ou être certain que les pertes de travail ou de chaleur, qu'il est souvent impossible de mesurer ou d'apprécier directement, soient elles-mêmes proportionnelles aux quantités de chaleur et de travail en action dans le phénomène.

Un exemple expliquera mieux cette pensée et je l'emprunte au domaine de

(1) Mon savant collègue, M. E. Rousseau, professeur de physique à l'École militaire et à l'Université libre, a bien voulu se donner la peine, non-seulement de vérifier les calculs de cette note, mais il a complété les données des tableaux, que je n'avais qu'ébauchées. Je me fais un plaisir et un devoir de le remercier publiquement de son extrême obligeance.

la physiologie, dans une question sur laquelle les chimistes, les physiciens, les physiologistes les plus savants ont eu tant de peine à se mettre d'accord et qui laissera longtemps encore à désirer, malgré les nombreux et remarquables travaux exécutés déjà ou en voie d'exécution.

Toute la chaleur communiquée dans un temps donné à un calorimètre par un animal, qui y est enfermé, résulte de la chaleur produite par la combustion de ses aliments. Si quelques savants ont cru pouvoir affirmer que, dans quelques cas, le calorimètre accuse moins de chaleur que celle qui serait produite par le carbone et l'hydrogène brûlés ; si d'autres, au contraire, en ont trouvé moins, et, enfin, si d'autres ont cru prouver que la chaleur communiquée au calorimètre se représente très-exactement par le carbone et l'hydrogène brûlés par l'économie, ces divergences reçoivent une explication rationnelle en appliquant le principe que nous venons de rappeler. En effet, M. Hirn a prouvé que la quantité de chaleur qu'un animal cède au calorimètre dépend de trois circonstances principales, dont il faut tenir compte.

La chaleur cédée à un calorimètre par un animal qui s'y trouve renfermé varie par trois circonstances principales : 1° l'animal peut être au repos; 2° l'animal peut exécuter un travail *positif;* 3° l'animal peut exécuter un travail *négatif;* en d'autres termes : 1° rester assis, 2° s'élever à une hauteur donnée, 3° s'abaisser d'une hauteur donnée; les quantités de travail produit ou détruit sont mesurables et se représentent : 1° par 0; 2° par une valeur positive; 3° par une valeur négative.

Dans le premier cas, la chaleur cédée au calorimètre sera représentée sensiblement par celle qui résulterait de la combustion des aliments ou de la quantité d'oxygène absorbé; dans le second cas : une partie de cette chaleur aura disparu sous forme de *travail mécanique* et le calorimètre accusera une quantité de chaleur moindre; mais dans le troisième cas le corps s'abaisse, surmonte la résistance des muscles, il y a donc du travail détruit dans l'organisme et par conséquent apparition de chaleur, le calorimètre accusera plus de chaleur que dans le premier cas. Voir : Hirn, *Théorie mécanique de la chaleur*, 1re partie, 1865, p. 26 à 33.)

Les circonstances de la nature de celles que nous venons d'indiquer sont singulièrement confondues par ceux qui admettent la fusion des balles de plomb dans les plaies produites par les armes à feu ; ils n'ont rien pu mesurer, donc ils n'ont rien prouvé, partant de principes scientifiques parfaitement exacts, ils me paraissent en faire une application erronée.

---

§ 12. *Phénomènes observés lorsque des balles de plomb, d'alliage fusible (plomb, bismuth, étain) fondant à 95° C., de sodium, d'étain, de bismuth, d'antimoine, de zinc, de fonte plus ou moins dure, frappent des obstacles*

sensiblement inébranlables. — Comparaison de ces phénomènes avec ceux produits par le briquet à silex. — Pulvérisation des balles de plomb, d'alliage fusible, de bismuth, d'étain, d'antimoine, de zinc, par leur arrêt subit sur des obstacles durs et fixes. — Phénomènes produits lorsque le plomb fondu ou l'alliage fusible tombent sur des obstacles, plans lisses, rugueux, mais durs, et sur des matières organiques. — Tir des balles de plomb et d'alliage fusible dans l'eau.

En citant les expériences mentionnées par M. Hagenbach, expériences dont, malheureusement, je ne connais pas les détails, M. Coze constate « qu'en tirant » sur de fortes plaques de tôle, à une distance de cent pas environ, les balles » coniques (du poids de 40 gr) ne produisent à la surface des tôles qu'une défor- » mation à peine appréciable et tombent ensuite près de la cible ; en même » temps une portion de la balle se détachait par fusion du reste de la masse » et l'on voyait une grande quantité de gouttelettes de plomb rayonnant dans » tous les sens. Le poids normal du projectile était réduit à 13 grammes. »

Les phénomènes, tels que je les ai observés, me paraissent un peu plus compliqués; la description succincte ci-dessus, empruntée à l'article du *Journal des Débats*, pose, ce me semble, en fait ce qui est en question.

Les formules données pages 25 et 26, nous apprennent qu'un projectile de plomb dont la température serait celle de la glace fondante, et qui serait animé d'une vitesse de 360m par seconde environ, s'échaufferait à 325° et fondrait complètement s'il était arrêté brusquement. On pourrait faire des calculs analogues pour tous les métaux et alliages dont je me suis servi, mais qu'il nous suffise de nous occuper du projectile employé à la guerre.

Je charge un fusil lisse de munition avec un poids de poudre capable d'imprimer à la balle sphérique de plomb de 16mm7 de diamètre, du poids de 0k,0265, une vitesse de 400m par seconde environ, l'obstacle que la balle frappera, placé à 5 ou 6 mètres de la bouche à feu, se compose d'une petite enclume de maréchal, d'une largeur de 0m110 sur 0m260 de hauteur; son poids est de 48 kilogrammes ; elle est parfaitement appuyée contre un mur d'une forte épaisseur pour la rendre aussi inébranlable que possible. Sa surface est dure et ne s'entame pas par la lime. Cette enclume est enveloppée par une feuille de zinc mince no 8 de 2 mètres de long, qui, repliée sur elle-même, forme en avant de sa surface tournée vers le tireur un long tube dans lequel on espérait retrouver, afin de pouvoir les peser, les fragments des balles brisées par le choc ; l'entrée de ce tube était fermée par quelques feuilles d'un papier très-fort destiné à recueillir les fragments rejetés en avant.

La première balle qui frappa l'enclume l'atteignit très-sensiblement au centre de figure et ses fragments, s'éparpillant de ce point, découpèrent la lame de zinc dans le prolongement du plan de l'enclume ; beaucoup de frag-

ments menus étaient implantés dans le couvercle de papier, à 2 mètres en avant; quelques-uns l'avaient traversé; on déploya rapidement la lame de zinc pour juger de la température des fragments les plus gros : on les trouva chauds, mais non brûlants; remarquons, toutefois, qu'une observation pareille n'a pas une bien grande valeur, bien que le temps du refroidissement fut très-court.

Mais il est un point qu'il faut remarquer très-particulièrement d'abord, c'est que la vitesse de la balle, que j'estime à 400^{m} par seconde, étant anéantie et toute la force vive transformée en chaleur, la température dans le plomb complètement fondu ne s'élèverait pas à moins de 415° C., c'est-à-dire à plus de 90° C. au delà du point de fusion; or comme je suppose toujours que la balle, au moment du choc, ne possède que la température de la glace fondante, ce qui est impossible dans le tir fait à la température ordinaire, et que je fais abstraction de la température qu'elle peut acquérir dans son parcours dans l'âme du fusil au contact des gaz de la déflagration de la poudre, il est incontestable que la température doit être encore plus élevée que 415° C.

Pour la balle conique du fusil suisse, M. Coze estime que la balle tirée à la température ordinaire possède, après un parcours de cent pas, une température de 100° C. Jusqu'à preuve du contraire, on peut élever des doutes très-sérieux sur cette estimation, qui est loin d'être démontrée et qui me paraît absolument arbitraire.

M. Coze pourra facilement vérifier ce fait en chargeant son fusil avec une balle d'alliage fusible, expérience facile quand on possède l'arme dont il s'est servi.

Quoiqu'il en soit, il est incontestable que, dans le tir sur mon enclume, je retrouve une quantité considérable de fragments qui n'ont pas subi la fusion, et je n'ai jamais observé des gouttelettes appréciables à l'œil nu.

Un phénomène me frappa : au moment où on déploya la lame de zinc, de la fumée et une poussière intense remplissaient l'appareil; je l'attribuai d'abord à tort à la poussière qui pouvait se trouver naturellement adhérente à l'oxyde de fer qui recouvre le fond de l'enclume ou à la poussière ordinaire sur la lame de zinc, poussières que l'ébranlement du choc aurait soulevée; je me trompais, comme on le verra plus loin.

La découpure de la lame de zinc n'était pas absolue; la portion en avant de l'enclume tenait encore à la partie fixée en arrière de son plan par une série de points; les lèvres de la plaie étaient rejetées au dehors et formaient une découpure interrompue par les adhérences, peu nombreuses, du reste, comparées aux parties entièrement détachées.

Placées contre le jour, les découpures apparaissent comme qui dirait formées par un dessin irrégulier des bords d'une dentelle de Malines. En effet, au delà de la plaie on observe une série nombreuse de petites ouvertures irrégulièrement disposées et irrégulières dans leurs contours, comme si elles avaient été

produites par le passage de projectiles microscopiques irréguliers; parfois, mais ce sont des exceptions, le petit trou formé paraît rond. Près des places trouées, plus en avant du côté du tir, se trouvent une série nombreuse de blessures faites à la lame de zinc par ces mêmes projectiles microscopiques, qui n'avaient plus assez de force vive pour la traverser.

J'ai vainement cherché à reproduire ces ouvertures microscopiques en tirant de la limaille de plomb sur une feuille du même zinc. Le fusil était chargé par une quantité de poudre de chasse capable de donner à la balle de 26gr,5 une vitesse de 400m; on introduisait ensuite 26gr,5 de limaille de plomb, soit seule, soit mélangée de quelques grammes de plomb de chasse, la lame de zinc, fixée sur un cadre, ou librement suspendue, se trouvait d'abord à 5 ou 6 mètres de la bouche à feu; mais j'ai fait aussi des tirs en me rapprochant jusqu'à 1 ou 2 mètres.

Une partie de la charge fait balle, et autour de la large blessure ainsi produite on aperçoit des ouvertures relativement assez grandes, irrégulières et rondes, dues au passage de la limaille ou des grains; puis une série nombreuse de traces des projectiles n'ayant plus la force de percer la tôle de zinc. Le tir se faisant avec de la limaille de fer donne lieu aux mêmes observations sensiblement. — Je ne suis parvenu dans une série de 10 coups avec de la limaille de différentes grosseurs, mais toujours assez fine, qu'à obtenir trois ouvertures microscopiques; tandis que dans le tir unique sur l'enclume entourée de la lame de zinc, il s'en était produit des centaines.

Les phénomènes diffèrent donc essentiellement dans les deux cas et leur discussion, eu égard à la force vive des fragments, la résistance de l'air, leur température, nous entraînerait trop loin; mais je me demande s'il n'est pas permis, en présence de ces faits assez inattendus, d'émettre l'hypothèse suivante : au moment du choc, la balle étant animée d'une vitesse de 400 mètres, la température s'élève dans les fragments microscopiques du plomb de la balle, peut-être même du fer arraché à l'enclume; la chaleur produite ainsi ne pourrait-elle pas se transformer en force vive, qui serait communiquée à une partie des fragments de la balle? S'il en était ainsi, on comprendrait qu'ils peuvent être animés d'une vitesse supérieure à celle de la balle au moment du choc, et par conséquent capables de trouer la lame de zinc.

Quoiqu'il en soit, tous les petits fragments de plomb qu'on parvint à retrouver, dans le tir sur l'enclume et le ricochet sur la lame de zinc, furent examinés dans cette expérience et dans beaucoup d'autres; il résulte de leur examen, fait à la loupe ou au microscope simple et au microscope binoculaire, qu'ils sont irréguliers, c'est à peine si on en trouve quelques-uns qui paraissent avoir parfois un bord arrondi. Je conclus directement, et sans hésitation, que s'il y a un phénomène de fusion, ce qui est incontestable, il ne s'opère que sur des quantités relativement faibles de la balle, contrairement à ce qu'avance

M. Coze en disant « qu'une portion de la balle, (qu'il estime au 2/3 de son poids » environ), se détachait par fusion du reste de la masse et que l'on voyait une » quantité de gouttelettes de plomb rayonnant dans tous les sens. »

Bien qu'il faille tenir compte des circonstances un peu particulières dans lesquelles les choses se passent, j'ai fait l'expérience directe en surchauffant du plomb fondu et en le laissant tomber de hauteurs qui ont varié de 1 à 10 mètres environ sur du papier, sur du bois, sur de la fonte, sur des dalles en pierre cuite, sur des dalles polies en pierre calcaire dure, laissant le plomb de la cuiller à projection se refroidir jusqu'à ce qu'enfin le plomb tombant s'écoulât d'une masse en partie solidifiée.

Dans ce cas, les fragments sont sphériques, ovoïdes, en forme de larmes ; aucun de ces fragments ne ressemble à ceux qui proviennent de la balle de plomb brisée par son arrêt sur les obstacles, tant l'enclume que les autres matières employées, même l'argile plastique ou l'eau dans laquelle se brisent les balles animées de vitesses de 500^m au moins. J'ai vérifié ces faits par l'expérience directe.

Je n'ai malheureusement pas fait assez d'expériences pour le tir à très-grandes vitesses dans l'argile et dans l'eau, n'étant pas assez bien monté pour ce genre de tir.

Je dois cependant constater qu'une balle de plomb brisée sur l'eau quand elle est animée d'une vitesse de 550 mètres, le tir se faisant normalement à la surface de l'eau, présente une surface ondulée particulière très remarquable, qui, même dans ce cas, pourrait simuler des phénomènes de fusion ; faisons toutefois remarquer que cette surface ondulée, ou *boursoufflée* comme le disent quelques chirurgiens, ne ressemble en rien aux surfaces de la grenaille de plomb obtenue en surchauffant du plomb et le laissant constamment refroidir, de façon à obtenir de la grenaille provenant de plomb surchauffé ou seulement fondu ; les balles à grandes vitesses tirées sur l'eau avaient perdu presque toute leur force vive en traversant environ 0^m,800 d'eau, car il n'y avait pas de trace de leur arrêt sur le fond du tonneau de bois dans lequel on tirait ; la bouche à feu n'était qu'à 2 mètres de la surface de l'eau.

Une balle de plomb s'aplatit sur l'eau quand elle ne se brise pas, la résistance que le liquide lui présente détruit rapidement sa force vive, comme nous l'avons dit.

J'espérais pouvoir obtenir des traces de fusion en tirant la balle d'alliage fusible sur l'eau ; mais celle-ci ne se déforme pas, ou très peu, et traverse le fond du tonneau à 0^m,800 sous l'eau ou s'y fixe, même lorsque ce fond est muni d'une lame de zinc ; par suite, on n'est plus certain de la cause à laquelle il faut attribuer les traces de fusion qui peuvent s'observer.

Ce serait une expérience très-intéressante que de pouvoir lancer des balles d'alliage fusible de Darcet ou autres alliages fondant à des températures infé-

rieures à 95° C. dans un puits où le niveau de l'eau atteindrait quelques mètres de hauteur.

Avant d'aller plus loin dans l'analyse de ces phénomènes, je crois devoir rendre compte d'une autre expérience, dans laquelle, au lieu d'employer la balle de plomb qui ne fond qu'à 325° C., j'emploie, dans une expérience disposée pour arrêter le projectile sur l'enclume munie de son manchon de zinc, une balle d'alliage fusible de Darcet; ces balles ont un point de fusion, 95° C. environ.

Leur	(c) calorique spécifique à l'état solide est :	0,0356
—	(c') calorique spécifique à l'état liquide	0,0390
—	(C'') chaleur latente de fusion . . .	4,496

J'avais entouré la lame de zinc d'un cahier de 24 feuilles de papier très-fort.

Après le choc, qui fut excentrique, c'est-à-dire à 33 millimètres du bord au lieu de 55, pour être bien au milieu de l'enclume, on trouve, indépendamment de la poussière très-fine, une assez grande quantité de petits fragments anguleux provenant des parties de la balle qui n'a pas subi la fusion, mais en avant on rencontre des lames plates provenant des parties fondues; quelques petites lames sont collées sur le papier faisant couvercle sur une caisse longue d'un mètre placée en avant de l'enclume et de la lame de zinc. Si la fusion et la projection en avant de la matière fondue est incontestable, il faut bien remarquer qu'une partie très-considérable de la balle était fragmentée sans fusion.

Or, la vitesse devait être au moins de 400^m par seconde, et pour la balle d'alliage fusible une vitesse de 256^m suffit pour la fondre complètement ; ce calcul établi conformément aux formules générales données plus haut, en prenant les valeurs numériques (c, c' et C'') correspondantes à l'alliage de Darcet.

Mais ce qui doit surtout frapper dans cette expérience, c'est de retrouver des fragments de la balle qui, évidemment, n'ont pas subi la fusion alors que, par l'arrêt subit et la transformation de toute la force vive en chaleur, la température dans le métal fondu serait de 385° C., c'est-à-dire 385° C. — 95° C. = 290° C. au delà du point de fusion.

Quant à la lame de zinc, elle ne ressemble en rien à la lame ayant servi au tir avec la balle de plomb ; elle est complètement découpée et rejetée au dehors, mais seulement sur une longueur de 0^{m}123, du côté le plus rapproché du point d'impact ; les 24 feuilles de papier sont découpées sur une longueur de 0^{m}143 ; les bords de ces découpures sont rugueux, comme si celles-ci avaient été faites avec un couteau à papier peu tranchant ; la première feuille est noircie par de la poussière métallique impalpable ; cette poussière s'étend à droite et à gauche de la plaie et y forme une bande noire adhérente, analogue à celle qui se produit dans la volatilisation de l'or dans l'expérience classique de la batterie électrique qui produit le portrait de Franklin ; mais la couleur en est plus

noire ; elle en diffère cependant en ce sens qu'à la loupe on y découvre une foule de très-petits points blancs métalliques brillants sphéroïdes, ovoïdes, irréguliers, mais nettement caractérisés par des contours arrondis.

Des déchirures, à peu près normales à la fente produite dans les 24 feuilles, se montrent et vont en s'allongeant jusqu'à la dernière feuille extérieure.

La matière de la balle qui avait traversé la lame de zinc et le papier avait ensuite dessiné une longue ligne blanche d'alliage fusible adhérente sur la large tôle de fer et la planche qui supportaient l'enclume.

Vis-à-vis de la blessure, du côté opposé, éloigné de 75 millimètres du point d'impact, la lame de zinc a été trouée sur une longueur de 30 millimètres ; sur les bords des deux plaies, l'alliage de Darcet s'est incontestablement allié au zinc de la lame ; les fragments d'alliage Darcet fondu ont déformé la lame sans la traverser et dessinent à peu près, dans le plan de l'enclume, une bande blanche d'alliage quadruple (bismuth, étain, plomb, zinc) au delà de laquelle s'étendent de larges plaques d'alliage en partie adhérentes et en partie non adhérentes ; ces plaques sont, du reste, en tout semblables à celles qui se produisent lorsque l'alliage Darcet tombe à l'état fondu sur une surface lisse et plane comme les dalles polies en pierres calcaires dures.

Dans les deux cas, tant pour la balle de plomb que pour la balle d'alliage, l'enclume autour du point d'impact est plombée ou couverte d'alliage fusible, qui réellement fait corps avec le fer aciéré, mais il faut prendre la précaution de rendre sa surface bien métallique.

Les balles de plomb et des autres métaux que j'ai employés (zinc, bismuth, étain, alliage fusible, antimoine) laissent sur l'enclume un petit creux sensiblement sphérique, d'un diamètre des 2/3 de celui de la balle ; tandis que, d'après M. Coze, les balles coniques tirées sur de fortes plaques de tôle ne laissaient qu'une empreinte à peine appréciable. La force vive de mes balles était bien plus considérable que celle des balles citées par M. Coze, donc elles se trouvaient dans des conditions plus favorables à la fusion du métal.

Pour me mettre à l'abri des pertes occasionnées par la déchirure de la lame de zinc, j'ai fait ensuite entourer l'enclume d'un manchon de tôle de fer de 2 à 2mm5 d'épaisseur, qui dépassait son plan d'un 10e de centimètre. Ce manchon a résisté parfois à plusieurs coups, mais parfois il a été percé dans le premier tir ; je cite ce fait pour prouver que les fragments conservent encore une force vive considérable et que, dans ce cas exceptionnellement favorable à l'arrêt complet de la balle, la force vive dont celle ci est animée est loin d'être transformée en chaleur. Avec un manchon à paroi un peu rugueuse et un coup bien concentrique sur l'enclume, j'ai vu se dessiner sur le manchon une ligne blanche de plomb qui y adhérait et qui, réellement, paraissait provenir de plomb ayant subi la fusion. Mais si l'on peut admettre la fusion pour ces parties adhérentes et quelque peu de matière jetée au loin, cela n'est plus possible

pour les fragments de 1 à 5 millimètres, leur examen prouve qu'ils n'ont pas été fondus.

Une autre observation vient encore à l'appui.

En effet, quand une larme de plomb liquide touche le sol, elle s'aplatit et se solidifie au centre, des petits globules fondus sont dispersés, mais il en reste beaucoup d'adhérents sur les bords, sous forme de bavures qui affectent la forme de larmes, d'ovoïdes ou de cylindres terminés par une surface nettement arrondie par la fusion. Or, les gros fragments des balles brisées n'offrent jamais cette apparence très-caractéristique; il est vrai de dire, cependant, que la vitesse dont ils sont animés doit modifier l'aspect de leurs bords.

Après les détails dans lesquels je viens d'entrer, je crois pouvoir me dispenser de décrire les tirs exécutés avec les autres métaux facilement fusibles, je crois cependant devoir donner encore quelques explications supplémentaires sur les phénomènes observés avec les balles de plomb.

J'ai fait plusieurs tirs avec l'enclume munie d'un manchon de fer ayant environ 1 centimètre d'épaisseur, il était suivi d'une feuille de zinc de 2 mètres, préalablement bien nettoyée, que l'on repliait ensuite de façon à obtenir un grand manchon. Quand la balle de plomb a passé par le couvercle de papier, on voit de la poussière sortir par l'ouverture; on ferme celle-ci par un bouchon et on attend quelques minutes avant de déployer la feuille de zinc. Ensuite on la déploie, et on la trouve complètement couverte, même jusqu'au couvercle, sur son fond et en partie sur les parois, d'une poussière excessivement ténue, noire, entremêlée de menus fragments; la poussière ressemble à celle de la plombagine d'un crayon que l'on taille et pourrait servir à estomper un dessin.

Ainsi, ce métal, si mou qu'il est caractérisé et differencié des autres parce qu'on le raie avec l'ongle, se pulvérise en partie et se transforme en poudre impalpable dans ce cas.

Mais, ce qu'il y a de remarquable, cette poudre renferme quantité notable d'oxyde de plomb, qu'elle cède à l'acide acétique dilué.

On constate donc, dans cette expérience, que des petites quantités de plomb peuvent fondre, mais que cette fusion est accompagnée d'une véritable pulvérisation de la balle.

Est ce le plomb fondu au moment du choc qui se pulvérise? Il serait nécessaire de faire une série d'expériences avec un appareil mieux disposé que le mien, dans lequel aucune fissure ne permettrait la déperdition des fragments, en employant, au lieu d'une enclume, une grande plaque épaisse d'acier poli ou de fonte dure; celle-ci serait entourée, à son tour, par un manchon d'acier s'y adaptant exactement et auquel on pourrait fixer très-exactement une longue caisse, de plusieurs mètres, pour recueillir les fragments et la poussière de façon à n'en pas perdre.

Les expériences, comme je les comprends, entraîneraient à des frais assez considérables et à un travail assez pénible, car il faudrait, en outre, prendre la vitesse de la balle à chaque coup et tirer tous les projectiles en usage.

Pour terminer ce qui me reste à dire au sujet de la température que peuvent atteindre les balles arrêtées subitement, je dois faire observer que la présence de l'oxyde de plomb dans la poussière provenant d'une balle arrêtée quand sa vitesse atteint 400^m par seconde, prouve que non-seulement quelques parties de la balle atteignent le point de fusion, mais la température de la combustion du plomb. Les balles employées dans les essais en vue de constater la formation de l'oxyde de plomb avaient été fondues avec des précautions qui ne permettaient pas d'admettre la présence de l'oxyde de plomb dans la balle; on sait, en effet, que ce corps peut se rencontrer accidentellement dans les plombs aigres.

Pour m'assurer de ce qui se passait réellement au moment du choc, j'ai tiré des balles de plomb en me plaçant dans une chambre obscure ; au moment où la balle frappe l'enclume, il se produit un éclair assez vif, jaunâtre, d'où il est permis de conclure que la température des parties qui deviennent visibles doit atteindre plus de 525°, qui est celle du rouge sombre, et peut-être aller à 1200° C., température qui correspond au jaune ou orangé clair des corps incandescents ; observons, toutefois, que cela n'altère en rien nos conclusions, car nous nous trouvons ici en présence d'un fait de la vie ordinaire, quand on se procure du feu par le briquet à silex ; les parcelles d'acier détachées sont amenées au jaune clair d'abord par la chaleur développée par le choc, et ensuite par la combustion du fer carburé.

Ce phénomène se produit, du reste, sur une échelle grandiose quand les projectiles de fonte en coquille et, par conséquent, très-dure, traversent ou frappent les plaques de fer de navires de guerre. Au moment du choc, il se produit une véritable gerbe de feu d'artifice de plusieurs mètres de surface. Les fragments du projectile sont brûlants, mais le phénomène de l'ignition ne se passe réellement que sur une très-faible quantité de matière comparativement au poids du projectile. Ajoutons que ce phénomène se produit alors que la visse du boulet n'atteint pas 350 mètres. Il me semble qu'il y a une grande analogie entre ce tir et celui d'une balle frappant mon enclume ; tandis qu'il m'est impossible d'en trouver entre le bouton ou l'os frappé ; on observera, du reste, sans qu'il soit nécessaire que je m'y arrête à quelles singulières conséquences on arriverait en appliquant les hypothèses que je combats. Une dernière remarque; quand un projectile est arrêté, et que sa force vive se transforme en chaleur, il faudrait pouvoir admettre, ce qui est absolument faux que la communication de la température se fait instantanément ou presque instantanément dans toute la masse du projectile, en d'autres termes, les métaux devraient jouir d'une conductibilité infinie.

La coefficient de conductibilité de l'argent, le plus conducteur de tous les

métaux étant représenté par l'unité, celle du fer de l'acier de la fonte est huit fois moins considérable, celui du plomb douze fois, celui de l'alliage d'Arcet trente-trois fois.

Toutes ces données physiques dont il faut tenir compte, me paraissent complètement perdues de vue dans le travail de M. Coze; elles expliquent jusqu'à un certain point la déformation et le bris de la majeure partie de la balle avant la fusion.

Quoi qu'il en soit, ajoutons que le zinc, l'étain, l'antimoine, le bismuth, l'alliage d'Arcet, l'alliage de zinc et de sodium peu riche en sodium, laissent voir un éclair analogue à celui produit par la balle de plomb. La balle de sodium qui ne pèse que 2gr1. Tirée par des charges de poudre qui communiqueraient à la balle de plomb des vitesses de 250 et 300 mètres environ, brûle avec plus d'éclat, mais chose étonnante, dans le premier cas, elle n'avait perdu que 0gr,2 de son poids et ce qui en restait était collé sur une lame de fonte sur laquelle on tirait; dans le second cas, un gros fragment pesant 0gr,900 fut retrouvé au pied de la plaque de fonte, il était légèrement chaud, mais conservait la forme aplatie ordinaire des balles de plomb tirées sur des calcaires durs, par exemple, à des vitesses qui ne les brisent pas complètement, c'est-à-dire vers 250m par seconde. Le sodium n'avait donc pas dû fondre, remarquons encore que le sodium fond à 90°, mais son calorique spécifique est près de dix fois plus considérable que celui du plomb, 0,2934 — les autres données physiques sont inconnues jusqu'à présent.

J'ai contrôlé les conclusions auxquelles j'étais arrivé pour la fragmentation, la pulvérisation et la fusion des balles de plomb et d'alliage fusible en exécutant les mêmes tirs, l'enclume étant entourée de lames de plomb dont les épaisseurs étaient de 2,5 1/2 et 4 millimètres, elle ont été traversées et blessées par les fragments des balles de plomb sans qu'on aperçoive des traces bien caractéristiques de fusion, tandis qu'il n'y avait pas de doute sur la fusion partielle des balles d'alliage fusible. Enfin, le même contrôle a été fait en plaçant une lame de plomb de 5 1/2 millimètres d'épaisseur sur la surface de l'enclume.

---

§ 13. *Tir des balles de plomb et d'alliage fusible dans des matières différentes par leur nature, leur dureté, etc., plomb, bois, calcaires durs et polis, calcaires tendres. — Tirs dans des papiers. — Mêmes tirs, la balle ayant traversé d'abord des lames de fonte, des lames de fer ou des os. — Fragmentation des balles dans ces différents cas.*

J'ai tiré des centaines de balles de plomb et de plusieurs métaux cités dans des matières qui me paraissaient offrir autant de résistances et plus même que la plupart des matières de l'économie.

Tirs sur le plomb.

La balle de plomb tirée sur une masse de plomb à la vitesse de plus de 360^{m} ne fond pas, elle ne se soude pas au plomb.

La vitesse diminue-t-elle jusque vers 250 mètres, la balle de plomb se soude réellement plomb sur plomb sur une zone concentrique au centre de l'excavation produite. Nous analyserons et nous chercherons à expliquer ce fait remarquable lorsque nous étudierons les phénomènes qui doivent se passer quand les balles frappent les hommes et que la forme des plaies peut simuler jusqu'à un certain point les effets des balles explosibles.

La balle d'alliage fusible animée d'une vitesse de 250 mètres se fixe dans le plomb se soude dans le creux qu'elle y a produit et se brise en fragments plus ou moins gros adhérents et présentant encore la forme du moule à balle. A la vitesse de 380 mètres, l'excavation produite dans le plomb est très-considérable, la balle en partie fondue adhère; de gros fragments offrant encore les contours arrondis du moule vers l'extérieur et des arètes comme qui dirait cristallines sont adhérents à de la matière qui paraît avoir été partiellement fondue.

Tir sur du bois.

Les balles de plomb qui pénètrent dans les bois parallèlement ou perpendiculairement aux fibres, lorsqu'elles sont animées de vitesses comprises entre 80 et 400^{m} par seconde, se déforment plus ou moins, parfois même elles ne se déforment que très-peu aux grandes vitesses, mais perdent une faible quantité de leur poids; jamais je n'ai vu des phénomènes de fusion bien caractérisés.

La balle d'alliage fusible, au contraire, offre dans ces cas de légères traces évidentes de fusion si sa vitesse est d'environ 250^{m}; elle pénètre perpendiculairement aux fibres d'environ 5 centimètres sans se déformer sensiblement dans des bois durs. J'en ai vu une animée de 400^{m} de vitesse, traverser 0^{m},085 de chêne dur, s'aplatir sur le mur sur lequel le bloc de bois était appuyé, y pénétrer en partie et retrouver plus du tiers de la balle en fragments ne présentant pas de trace de fusion; or, nous avons vu qu'à cette vitesse le projectile fondu entièrement aurait une surchauffe de 290° C. ou une température de 385° C., si la fusion n'est pas entière c'est parce que la balle a *blessé* et *travaillé.*

Les balles qui pénètrent dans les bois tendres et parallèlement aux fibres donnent lieu à une série d'observations analogues, mais peu importantes pour notre objet.

Dans les nombreux tirs exécutés, la pénétration des balles de plomb a varié de 0^{m},005 à 0^{m},200.

Je crois que peu d'os de l'économie offrent à la balle une résistance aussi considérable que celle d'un bloc de chêne dur frappé perpendiculairement aux fibres du bois.

Tir sur des calcaires durs et polis.

Abstraction faite d'un phénomène particulier qui se produit au point d'impact avec les balles de plomb animées de vitesses de 80 à 380 mètres, nous dirons brièvement que les balles s'aplatissent, se brisent, se transforment en lames amincies à surface ondulée, la pierre est plus ou moins brisée. Couvre-t-on la pierre d'une feuille de papier blanc celle-ci est déchirée, si la balle a une vitesse de 380 mètres, mais l'examen le plus attentif de tous les fragments d'une feuille pareille recouvrant une pierre bleue ayant une épaisseur de $0^{m},055$ n'y a fait voir aucune trace de rissolement, phénomène qui se serait produit si du plomb à plus de 325° C. avait été en contact avec le papier, car dans ce cas on ne peut guère admettre que le plomb fondu ne brûlerait pas ou ne rissolerait pas le papier; l'expérience directe prouve que du plomb partiellement fondu, donc à 325°, tombant sur du papier ordinaire le rissole parfaitement, la hauteur de chute n'étant pas considérable, 1 ou 2 mètres par exemple.

Une balle d'alliage fusible atteint-elle la même pierre avec la même vitesse, la pierre paraît brisée en fragments plus menus que par la balle de plomb et la balle est littéralement pulvérisée en fragments irréguliers non arrondis, n'ayant pas subi la fusion; à peine trouve-t-on quelques traces de fusion sur de très-rares fragments. La balle ne fond pas parce qu'elle a bien travaillé.

Je crois inutile de donner la disposition des précautions prises pour recueillir tous les fragments brisés des balles et des obstacles; tous les tireurs les comprennent et ils savent aussi qu'il faut user de prudence pour se mettre à l'abri du ricochet des balles fragmentées.

Tir sur calcaire tendre, le calcaire jaunâtre de Jaumont (Metz).

Des balles de plomb ont été tirées sur de gros blocs de ce calcaire aux vitesses de 80 à 380 et 400 mètres; ne nous arrêtons qu'aux vitesses de 250 et 380.

A 250 mètres de vitesse, la balle de plomb produit une large blessure, mais souvent elle rebondit vers le tireur; en la touchant de suite, il s'aperçoit qu'elle est chaude, mais non brûlante — dans plusieurs cas le temps du refroidissement ne s'élevait guère qu'à deux ou trois secondes. A la vitesse de 380 à 400 mètres, elle peut parfois revenir au tireur avec violence, parfois elle se trouve au pied du bloc chaude toujours, mais non brûlante, en général, dans les deux cas elle ne perd rien de son poids ou la perte n'est que très-faible; elle présente à ces vitesses une déformation remarquable en ce sens que, plus ou moins aplatie, sa surface est creusée de rugosités bizarres qui présentent la forme exagérée des balles que l'on aurait *mâchées* avec des dents aiguës et pointues. J'en possède beaucoup qui ressemblent à des calculs muraux ou espèces de choux-fleurs à mamelons aigus.

En somme pas de phénomène de fusion; je crois cependant qu'aucun os de l'économie ne présente la résistance d'un bloc de calcaire pareil appuyé fortement et bien collé contre un mur inébranlable. J'ai employé des blocs qui n'avaient pas moins de 50 centimètres sur 20 et 30 de largeur et de longueur, sans observer de bien notables différences entre ces balles et celles qui avaient été tirées sur des fragments plus petits provenant de leur bris.

On pouvait s'attendre à voir la balle d'alliage fusible fondre, il n'en fut rien ; à la vitesse de 250 mètres un gros bloc fut brisé, la balle elle-même fut brisée en une série d'une 10e de gros fragments et une 15e de petits.

Un seul des gros fragments offrait le phénomène de la fusion, c'était celui qui correspondait au point d'impact, tous les autres présentaient une cassure anguleuse, fibreuse cristalline et les traces du moule de la balle ; tous les petits étaient anguleux ; leur poids total s'élevait au 4/5e de celui de la balle.

Une balle animée d'une vitesse de 380 mètres donna lieu aux mêmes observations les fragments retrouvés étaient plus nombreux et plus petits, la pierre bien plus brisée; le poids total des fragments retrouvés s'élevait aussi au 4/5e du poids de la balle.

Encore une fois donc pas de fusion, peu de chaleur, mais du travail.

Tir dans les papiers.

Ces expériences ont été extrêmement variées et leur description nous entraînerait trop loin ; je pense cependant qu'il est bon d'avoir présent à l'esprit les quelques faits suivants, eu égard à la forme de la blessure dans un livre, comparée à la blessure chez le soldat ou le cheval. Les balles de plomb animées de vitesses de 3 ou 400 mètres étant lancées normalement aux feuilles de gros livres appuyés sur des murs présentent les déformations les plus bizarres et sont souvent fragmentées en lames assez grandes et aplaties, comme si elles avaient été laminées, mais elles présentent cette surface ondulée sur laquelle j'ai déjà appelé l'attention ; parfois elles sont tourmentées de la façon la plus bizarre, certains fragments sont très-brillants par suite de leur frottement sur les déchirures du papier, les brins de papier qui adhérent parfois très-fortement à la balle ne m'ont jamais offert la moindre coloration rappelant l'effet d'une chaleur comme celle que leur communiquerait du plomb fondu. On retrouve à très-peu de chose près, le poids de la balle en fragments de plomb dans l'intérieur du livre, même lorsque celle-ci, avant de pénétrer, a d'abord frappé et traversé une lame de fonte de 3 à 4 millimètres ou une lame de tôle de fer appuyées sur le livre ; or, les boutons de l'habit militaire sont loin, en général, d'offrir la résistance des tôles de fer que j'ai souvent employées et même des lames de fonte; les os plats avec les chairs ne me paraissent pas non plus offrir la résistance des livres que j'ai employés.

Les mêmes expériences faites en plaçant sur le livre les os les plus forts de l'économie du cheval ne m'ont jamais, aux vitesses les plus grandes, offert des

traces manifestes de fusion; elles ne perdent qu'une petite fraction de leur poids ; souvent dans ces cas les petits fragments de plomb sont mélangés avec de la véritable poussière d'os, que l'os soit naturel et humide ou desséché.

En tirant sur un livre appuyé, mais non garni de lames métalliques ou d'os avec des balles animées de vitesses de 3 ou de 400 mètres, on produit dans le papier des excavations plus ou moins coniques remplies de menus fragments de papiers ; au delà il y a desdéchirures très-considérables dans le livre, mais le papier adhère ; il est fortement comprimé dans le prolongement du trajet de la balle ; la profondeur de la cavité, remplie de papier, déchiré et déchiqueté, dépend de la vitesse, elle atteint peut-être jusque 7 ou 8 centimètres et plus avec des balles marchant à la vitesse de 400^m environ ; les déchirures simples et les impressions dépassent ce creux d'une quantité pareille. La balle de plomb animée d'une vitesse inférieure à 300 mètres pénétrant dans un livre y produit une déchirure conique, la base du cône étant opposée à l'entrée ; on peut très-aisément détacher toutes ces feuilles pressées et obtenir un cône de feuilles superposées, cône d'une régularité presque mathématique, et dont l'enlèvement produit un creux conique parfait aussi. La hauteur et la base du cône augmentent avec la vitesse jusqu'à ce que celle-ci atteigne environ 250 mètres, avec des vitesses plus considérables le papier qui aurait dû produire les cônes est broyé déchiré et parfois comme qui dirait pulvérisé.

Mais la balle offre une déformation bien extraordinaire depuis les vitesses faibles jusque 250^m environ. En effet, elle est plus ou moins aplatie, son diamètre peut varier du simple au double, elle est creusée du côté qui a frappé ; ses bords semblent avoir marché en avant, tandis que le centre est resté en arrière et présente un renflement qui conserve encore la forme sphérique du projectile. Toutes les coupes passant par le centre de figure d'un projectile déformé de cette façon, vues perpendiculairement à la trajectoire, se montrent sous la forme d'un croissant plus ou mois régulier, mais renflé entre les cornes ; ce renflement, en général assez régulièrement sphérique, correspond aux points qui les premiers ont dû toucher l'obstacle.

Ajoutons encore que le papier qui forme le cône est fortement comprimé ; au delà du cône il se produit des déchirures partielles qui laissent les feuilles adhérentes jusqu'à une profondeur plus ou moins grande, mais l'empreinte se prolonge bien au delà des déchirures.

Tire-t-on à la vitesse de 380 mètres des balles de plomb sur la tranche d'un livre, elles se déforment bien moins que dans les cas précédents, elles découpent encore une espèce de cône, mais il reste attaché par le fond ; la balle en se frayant un passage a comprimé une partie des feuilles à son entrée en les déchirant partiellement et se trouve blottie dans une masse de papier durci par la compression, plissé et portant parfois des déchirures divergentes inclinées sur l'axe du trajet.

Tire-t-on sous l'angle de 45°, il se produit encore ce même effet et souvent aussi cette série de déchirures divergentes inclinées sur l'axe du cône, mais il faudrait pour décrire les résultats pouvoir les reproduire par plusieurs dessins de l'ensemble de feuilles prises à différentes distances du trajet.

Il ne sera pas inutile de faire remarquer que dans le tir sur les papiers beaucoup de circonstances peuvent intervenir, la nature du papier, la régularité de ses feuilles, sa reliure si c'est un livre, etc. ; s'agit-il du tir sur la tranche on est obligé de serrer le livre dans une presse, ou de le charger de poids ; or, la pression peut varier et les phénomènes produits dépendent des circonstances du tir, mais restent les mêmes au point de vue le plus général.

Qu'il me suffise de dire que lorsqu'il s'est agi d'examiner la fusion possible des balles dans le papier, j'ai pris les livres les mieux reliés les plus durs et en tirant sur la tranche du livre, j'employais une presse très-énergique pour rendre la résistance maximum.

Les balles d'alliages fusibles tirées dans les mêmes conditions pénètrent davantage car elles se déforment peu ; aux vitesses de 250 à 380 mètres, elles ne perdent presque pas de leur poids et n'offrent que de très-légères traces indubitables de la fusion d'une très-petite quantité de matière à leurs surfaces.

On voudra bien remarquer que dans ce qui précède, j'ai du me contenter de décrire brièvement des expériences dans un but déterminé, sans entrer dans les questions si difficilement abordables des phénomènes qui accompagnent le choc des corps plus ou moins élastiques frappant des obstacles qui à leur tour jouissent de plus ou moins d'élasticité ; les phénomènes calorifiques se compliquent des données de l'élasticité et il serait absolument impossible de faire la part de ce qui revient exactement à la force vive, à sa transformation en chaleur et au retour de celle-ci en mouvement, lorsqu'elle a été produite par la déformation instantanée d'un corps plus ou moins élastique, qui reprend plus ou moins sa forme primitive.

---

§ 14. *Observations préliminaires. — Différences essentielles entre les observations faites dans des tirs d'expériences et celles qui sont faites sur des soldats blessés. — Tir de la balle de pistolet dans les organes du cheval. — Projection de matière en avant, du côté du tireur. — Forme des blessures, cylindres, cônes et doubles cônes ; leur assimilation avec ce qui se passe dans les blocs d'argile traversés par des balles. — Tir dans le corps du cheval. — Dans les os avec le fusil de munition à balle sphérique en plomb et en alliage fusible.*

Mon but, en décrivant d'une façon abrégée les observations que j'ai pu faire sur la pénétration des projectiles sphériques de plomb dans l'économie animale, doit être bien défini.

En effet, il ne s'agira pas, dans ce qui va suivre, de décrire des phénomènes de pathologie chirurgicale, mais de dire, en observateur aussi consciencieux que possible, ce que tout homme peut voir et analyser ; c'est aux chirurgiens, aux anatomistes, d'entrer dans les détails auxquels je suis étranger par la nature de mes études. Je pense cependant que mes expériences peuvent apporter quelques lumières dans ces questions et éveiller l'attention des médecins, chirurgiens, sur des points particuliers qui sont controversés et par cela même laisser dans leur esprit une trace du désir que j'ai d'apporter quelques faibles matériaux, qui leur permettront parfois d'apprécier les services que les sciences exactes peuvent rendre aux sciences médicales.

Mais il est un point sur lequel je dois dès l'abord bien fixer l'attention. Dans les tirs d'expérience que j'ai exécutés et dans ceux de la guerre il y a une différence essentielle que le chirurgien ne doit pas perdre de vue. En effet, dans les laboratoires nous nous rendons parfaitement compte de la vitesse, de la forme, de la matière, etc., des projectiles employés ; nous apprécions la valeur des obstacles que nous interposons entre la bouche à feu et l'objet frappé ; nous savons en tenir compte à chaque coup. Rien ne doit nous échapper dans le phénomène ; la blessure est produite de façon à en apprécier toutes les circonstances.

A la guerre, les choses se passent tout autrement : le chirurgien constate la blessure, rien de plus ; quant aux circonstances dans lesquelles elle s'est produite, il est rare qu'il puisse les apprécier ; parfois même il ignore la nature du projectile, que l'on ne retrouve pas toujours ; tous les corps durs, briques, pierres, métaux, même des fragments de bois peuvent blesser s'ils sont mis en mouvement par suite de l'action d'un projectile sur la trajectoire duquel ils se trouvent ; il doit, ce me semble, y avoir souvent de grandes difficultés dans le diagnostic ; ces débris sont eux-mêmes compliqués par la présence de parties dures du vêtement et de l'arme du soldat, vêtements, boutons, buffleteries.

S'agit-il de la déformation des projectiles de plomb, le chirurgien est et doit rester dans le doute sur les causes qui l'ont produite, si, par exemple, un os a été frappé et que les fragments du projectile se retrouvent ; en effet, la balle a pu ne pas frapper directement, elle a pu subir une première déformation en frappant un corps quelconque, qu'elle a traversé, qu'elle a entamé plus ou moins considérablement, en un mot la blessure est produite par un projectile qui a déjà travaillé, après un ricochet sur un corps dur, une roue de voiture, un caisson, un pavé, sur des corps mous, bois par exemple, et c'est une balle *préalablement déformée* que le chirurgien n'extrait qu'après une nouvelle déformation possible sur un os.

Les phénomènes, dans ces cas, peuvent se compliquer indéfiniment, car le canal qu'un projectile irrégulier doit produire dans les chairs peut présenter des formes tout à fait inattendues.

Une balle sphérique non déformée, qu'elle soit ou non animée d'un mouvement de rotation sur un axe quelconque, frappe toujours de la même façon ; il n'en est plus de même des balles des armes portatives nouvelles, douées aussi d'un mouvement de rotation sur leur axe de figure ; mais celles-ci peuvent frapper normalement par leur pointe ou pénétrer obliquement et former ainsi des canaux les plus divers, indépendamment même d'un ricochet ou d'une déformation préalable.

Il me semble qu'il est prouvé, sans contestation possible, par ce qui précède, qu'il doit exister ou qu'il peut exister des différences fondamentales entre les observations faites sur des soldats blessés et celles que l'on peut faire dans des expériences directes sur les cadavres.

Tir dans les chairs, dans les cadavres, sur des os, etc.

Les descriptions des expériences balistiques entraînent à des longueurs fatigantes, mais c'est une nécessité presque inévitable, si l'on veut être exact ; je pense cependant qu'au point de vue critique auquel je suis placé, il me sera permis d'être aussi court que possible.

Tir au pistolet dans les chairs, les os et les organes.

Je n'insiste pas sur les expériences faites avec le pistolet de combat à balle sphérique de 12 millimètres de diamètre du poids d'environ 10 grammes ; ces balles, animées de vitesses faibles peuvent s'implanter dans les os, mais aux vitesses 250 à 300 mètres elles traversent et brisent parfaitement les os frais ou desséchés, même des mâchoires du cheval ; l'effet produit est d'autant plus considérable que la vitesse est plus grande, ce qui se remarque surtout sur les os libres ou entourés encore des parties charnues qui les enveloppent.

Si l'on fait passer une balle de pistolet dans des organes du cheval librement suspendus, — foie, rate, reins, poumons, insufflés ou non, cœur, on observe toujours qu'aux vitesses faibles correspondent des ouvertures peu larges, parfois même presque cylindriques, tandis qu'aux grandes vitesses les ouvertures sont beaucoup plus larges et vont en s'évasant du côté opposé au tir dans des proportions considérables ; l'entrée du projectile à faible vitesse offre une ouverture ronde assez nette, mais aux grandes vitesses les bords de la plaie sont déchiquetés et portent des rayons ou déchirures groupés en étoiles ; avec des tissus comme les reins et le foie du cheval, la balle à faible vitesse passe librement sans grande projection de matière ; aux grandes vitesses j'ai vu des fragments de foie rejetés sur le tireur placé à 5 mètres de l'organe, on en trouvait même jusqu'à 4 ou 5 mètres derrière lui. Dans le premier cas, l'ouverture produite avait à peu près le diamètre de la balle, 10 millimètres ; en employant une charge quintuple de poudre l'ouverture avait 50 à 70 millimètres et était entourée de fentes atteignant 14 à 15 centimètres de longueur.

Toutes choses égales, d'ailleurs, les ouvertures vont en augmentant avec l'épaisseur trave sée.

J'ai vu dans de grandes ouvertures pratiquées dans le foie du cheval, par exemple, des vaisseaux être mis à nu et apparaître comme s'ils avaient été disséqués avec la plus grande précaution par le scalpel.

Les muscles du cheval se comportent, au point de vue le plus général, comme les organes, les projections du côté du tireur sont moins prononcées; à vitesse moyenne et sur des muscles épais, j'ai vu la blessure évasée du côté du tir, contrairement à ce qui s'observe d'ordinaire.

Dans le gros extenseur de l'avant-bras du cheval traversé par une balle à grande vitesse, j'ai constaté que la blessure pouvait affecter la forme de deux troncs de cône accolés par leur sommet; ce phénomène se produit si la balle rencontre dans l'intérieur des muscles des parties plus tendineuses, plus résistantes que les parties externes.

J'ai démontré expérimentalement que la forme de l'excavation produite par le passage des projectiles sphériques dans les argiles plastiques peut, eu égard à la vitesse, à la consistance ou la nature à l'épaisseur du bloc se représenter :

1° Par un cylindre presque parfait;

2° Par un cône évasé du côté opposé au tir;

3° Par un cône évasé du côté du tir;

4° Par deux troncs de cônes accolés par leurs bases;

5° Par deux troncs de cônes accolés par leur sommet : si, par exemple, on stratifie une série de lames d'argile par des feuilles métalliques minces, du carton, etc.

Vis-à-vis des données contradictoires que l'on trouve au sujet de la forme des blessures, je pense qu'il est nécessaire d'admettre que l'on ne peut pas comme je le vois parfois dans les livres et comme quelques artilleurs l'avancent, admettre une forme unique pour tous les cas; une étude attentive seule peut amener à donner exactement les conditions à remplir pour obtenir une forme donnée.

Tir dans le corps du cheval, dans ses os, avec le fusil d'infanterie à balle sphérique en plomb et en alliage fusible.

Toutes les expériences que je cherche à décrire brièvement ont été faites surtout avec des balles sphériques du fusil d'infanterie de $0^{m}0167$ de diamètre du poids de $26^{gr},5$ pour la balle de plomb et $23^{gr},5$ pour la balle d'alliage fusible.

Les tirs ont été exécutés surtout avec des vitesses de 240 et 380 mètres, ce qui, en nombres ronds, correspond à une force vive de 80 et 200 kilogrammètres ou dans les rapports simples de 2 : 5.

Je ne saurais trop engager MM. les chirurgiens à porter leur attention sur les faits principaux que je décris, en les prévenant que mon travail laisse énormé-

ment à désirer; qu'il faudrait une longue série d'expériences pour pouvoir apprécier dans tous les cas toutes les données du problème : la forme, l'épaisseur, la profondeur, la dureté, la résistance des chairs, des organes ou des os atteints, la tension, la flexion des muscles, l'inclinaison de la trajectoire sur la partie frappée, sont autant de circonstances qui interviennent et modifient les phénomènes. On a cru pendant longtemps que le tir normal produisait des effets plus énergiques que le tir sous des angles assez aigus, et cependant je suis amené à conclure qu'il pourrait bien en être tout autrement. En effet, dans le tir en brèche avec des boulets sphériques, comme l'ont prouvé les expériences célèbres de Bapeaume, le tir oblique a eu sur le tir direct des avantages incontestables, fait qui est resté sans explication et dont j'ai cherché à rendre compte logiquement dans un mémoire inédit encore sur le *passage des projectiles à travers les milieux résistants,* mais dont des données succinctes ont été imprimées cependant, d'abord pour prendre date et ensuite pour répondre à des objections peu bienveillantes (1).

N'oublions pas aussi que j'écris surtout en vue de détruire le préjugé qui admet la fusion des balles de plomb dans les plaies produites par les projectiles d'armes à feu.

Expériences. — Deux balles de plomb, l'une à la vitesse de 240 mètres, l'autre à 380 mètres par seconde, ont atteint le même point, très-sensiblement, de la partie latérale et antérieure de la croupe du cadavre d'un cheval, l'une à droite, l'autre à gauche ; elles ont traversé la peau, une partie musculaire assez épaisse et l'os de la hanche, en un point où son épaisseur est d'environ 1 centimètre.

L'ouverture faite à la peau par le projectile à grande vitesse est beaucoup plus considérable que par celui à faible vitesse.

Les deux balles ont produit dans l'épaisseur du tissu musculaire un canal en forme de cône dont le sommet correspond à la peau ; le phénomène est plus marqué pour la balle à grande vitesse; autour de l'ouverture faite à l'os, les muscles sont séparés de sa surface dans un rayon de 4 à 5 centimètres pour la balle à faible vitesse, et sur une étendue deux ou trois fois plus grande pour la balle à grande vitesse. La balle à faible vitesse fait dans l'os une ouverture ronde nette et régulière, d'un diamètre un peu plus considérable que celui de la balle, on la croirait produite par un emporte-pièce. La balle à grande vitesse produit une ouverture beaucoup plus grande, irrégulière, entourée de fragments nombreux de différentes dimensions; la plupart de ces fragments sont dirigés dans le sens de la trajectoire; d'autres, au contraire, paraissent avoir été soumis à une action directement opposée; on doit compter, parmi

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences,* nos du 30 septembre 1867 et du 29 novembre 1869.

ces derniers, quelques fragments d'os dans le détritus occupant la plaie musculaire tournée du côté du tireur.

Les deux balles sont déformées sans perte de poids considérable, celle à grande vitessé beaucoup plus que l'autre.

J'ai vu, dans d'autres tirs analogues, la balle à 240m de vitesse environ s'implanter dans le même os et y rester fixée. Dans aucun cas, il n'y a fusion.

Je décris ces expériences en vue surtout de montrer qu'il y a une certaine relation entre la force vive et la gravité des lésions, et pour signaler cette propriété extraordinaire de projection en avant du côté du tireur ; elle trouvera son explication plus loin ou au moins une hypothèse plausible qui permet de comprendre le fait, abstraction faite d'un ricochet interne.

---

§ 15. *Expériences au pistolet de tir dont les balles de plomb brisent et traversent les os du cheval. — Expériences faites en vue de prouver que les balles de plomb et même les balles d'alliage fusible ne fondent pas en produisant les plaies; tir de ces balles dans les os du cheval.*

Tous les chirurgiens peuvent facilement faire les expériences qui leur permettront d'asseoir leur jugement sur cette prétendue fusion des balles de plomb arrêtées par des boutons, des corps durs ou des os.

Il suffit d'avoir un pistolet ordinaire de tir dont les balles peuvent atteindre une vitesse de plus de 300 mètres, avec une charge de poudre qui n'est ni exagérée, ni dangereuse.

Quelques mots suffiront pour décrire, d'une manière sommaire, mais suffisante, une nombreuse série d'expériences que j'ai faites avec cette arme, dont la balle, d'un diamètre de 12 millimètres environ, pèse sensiblement 10 grammes.

On peut laisser les os libres, les appuyer et les fixer sur des cahiers de papier, du vieux linge, etc., de façon à recueillir les balles et les fragments.

La série des tirs avec le pistolet a été assez complète et j'ai traversé et brisé les os du cheval en les plaçant de façon à les atteindre normalement pour en percer les deux faces et y faire une ouverture circulaire, de part en part, sans les briser.

J'ai employé des fémurs, des tibias, des radius, le coxal dans ses différentes parties, le scapulum, des mâchoires à la hauteur des dents, des canons de la jambe, etc.

La vitesse de la balle a varié de 100 à 300 mètres, le plus souvent le tir se faisait avec des vitesses de 250 et de 300 mètres par seconde ; ces vitesses suffisent pour les perforer nettement, les briser quand les coups sont trop excentriques ; indépendamment de ces tirs, j'en ai fait encore beaucoup d'autres en

choisissant des os plats et faibles, parfois seuls, parfois en juxtaposant plusieurs os plats traversés successivement par la même balle ; les balles de pistolet traversent nettement les os plats alors que leur vitesse n'est que de 100 à 150 mètres par seconde, et brisent les os plus ou moins résistants.

Je crois inutile de donner une description détaillée de ces tirs, dont j'ai, du reste, cherché à varier les conditions et qui donnent toujours, toutes choses égales d'ailleurs, les mêmes résultats.

Les balles ne perdent, par suite de leurs déformations, de leurs déchirures vers les bords et des frottements qu'elles subissent lorsqu'on les reçoit dans des papiers, qu'une faible partie de leur poids. Mais il faut remarquer que l'on ne peut pas toujours retrouver et séparer des débris ou de la poussière d'os, si le tir a été exécuté sur un os sec, les menus fragments de plomb arrachés vers les bords de la balle déformée ; souvent la poussière d'os secs très-durs, les dents par exemple, s'incruste dans la balle et rend des pesées exactes difficiles.

Les balles de pistolet, animées de vitesse de 300 mètres, peuvent traverser successivement plusieurs os plats peu résistants ; elles perdent nécessairement une partie de leur force vive ; que l'on reçoive une balle après son passage à travers les os dans un cahier de papier placé debout et appuyé contre un mur et l'on retrouve souvent des balles pareilles ayant subi cette déformation bizarre des balles qui frappent un livre alors que leurs vitesses sont inférieures à 350 mètres ; jamais je n'ai vu du papier rissolé, observation qui prouve que la température est loin d'atteindre 325° C.

Dans aucun des nombreux tirs que j'ai exécutés au pistolet, à n'importe quelle vitesse, quelle que fût la sécheresse, la dureté, la résistance des os, je n'ai rencontré le phénomène de la fusion du plomb d'une façon caractéristique, ni les pertes par fusion des balles tirées sur les cibles de fer, pertes s'élevant, d'après M. Coze, jusqu'au 27/40 du poids de la balle, et qui se seraient détachés par fusion.

Tirs divers, de la balle de plomb et d'alliage fusible avec le fusil de munition.

Après avoir constaté que les balles d'alliage fusible ne présentent que des traces de fusion lorsqu'elles sont tirées sur des livres ou dans des cahiers de papier, j'ai fait traverser à une balle pareille, à la vitesse de 380 mètres, deux scapulums de cheval, partiellement desséchés, superposés et appuyés sur des livres posés contre un mur.

Le premier est atteint dans la fosse sous-épineuse ; son épaisseur y est d'environ 5 millimètres, l'ouverture, nette et ronde, a un peu plus que le diamètre de la balle ; la sortie, irrégulière, est un peu plus grande. La balle atteint ensuite le second vers son bord postérieur où l'épaisseur est de 17 à 21 millimètres, elle détruit ce bord en y faisant une large échancrure et en enlevant des

éclats en avant et en arrière, puis la balle passe dans le livre ; elle est brisée, mais ses fragments déchirent les feuilles et laissent une impression profonde de 70 millimètres ; 8 gros fragments avaient ensemble le poids des 2/3 de la balle ; leur cassure était cristalline ou fibreuse ; à l'extérieur des fragments, on reconnaissait la forme du moule de la balle ; un seul de ces fragments offrait des parties fondues ; puis on observait de la poussière ou menus fragments sans traces de fusion ; mais à une profondeur de 57 millimètres, on trouva dans une fente du papier un fragment de la balle qui, en fondant, avait soudé quelques feuilles de papier. Ainsi, voilà une balle fusible à 95° C. qui traverse deux os épais et résistants et sur laquelle il ne s'est opéré qu'une très-légère fusion par son action sur les os ; M. Coze admet que les 2/3 ou les 27/40 de la balle de plomb fondent sur les cibles de fer ; il pense que les choses se passent de la même manière lorsque les balles de plomb pénètrent dans l'organisme en frappant un corps dur ou un os, et, dans ce cas-ci, nous voyons une balle d'un métal fusible à une température de 230° C. inférieure à celle de la fusion du plomb, ne présenter, après le passage par deux os et son trajet dans un livre, que des traces de fusion, alors que les 2/3 de la balle n'en portent sensiblement aucune. Remarquons de nouveau que toute la force vive de la balle étant transformée en chaleur la température pourrait s'élever à 385° C dans la masse fondue, c'est-à-dire à 290° au delà du point de fusion.

Une balle d'alliage fusible traverse un os plat desséché, la mâchoire inférieure d'un âne appuyée sur des cahiers de papier, brise l'os, traverse ensuite 500 pages de papier, produit des déchirures jusqu'à 1,600 pages et ne présente que de très-légères traces de fusion ; elle perd $1^{gr},3$ de son poids. Sa vitesse était de 240 mètres.

Une partie de la mâchoire fraîche d'un cheval appuyée sur deux fortes planches de sapin est brisée et pulvérisée par une balle d'alliage fusible, les fragments sont jetés dans toutes les directions, tant ceux de l'os que de la balle qui a frappé à la naissance des dents, où l'épaisseur des os est de 34 millimètres ; on observe une série de petits fragments anguleux de la balle ; 1/3 de son poids se trouve en fragments plus gros, on y observe des traces de fusion sur quelques-uns, d'autres conservent la trace du moule de la balle. Sa vitesse était de 380 mètres. Les deux planches avaient été traversées et brisées.

Une balle de plomb, à la vitesse de 240 mètres, traverse l'iléum sec du coxal du cheval à peu près vers le centre, où l'os a une épaisseur totale de 25 millimètres, dont 10 ou 12 sont constitués par la substance médullaire ; l'os est appuyé sur un gros livre. La balle, en entrant, forme un trou sensiblement net et rond, un peu plus grand que son diamètre ; l'ouverture de sortie, irrégulière, a un diamètre moyen de 50 millimètres ; une fente en avant du côté du tir, deux à la face opposée. La balle irrégulièrement aplatie, ses diamètres étant de 20 et 25 millimètres au lieu de $16,7^{mm}$., a pénétré fort avant dans le

livre ; la surface qui a frappé est très-irrégulière, implantée de poussière d'os ; elle a perdu $0^{gr},5$ de son poids ; elle était à peine chaude au moment où on la retira du livre, ce qui se fit le plus rapidement possible.

La même expérience, répétée avec une balle à 380 mètres de vitesse, produisit sensiblement le même effet sur l'os ; elle avait frappé exactement comme la précédente ; l'entrée est caractérisée par une série de petites fentes, les bords sont légèrement déchiquetés ; l'ouverture de sortie un peu moins large que dans le cas précédent. Elle pénètre fort avant dans le livre, mais elle est brisée très-irrégulièrement, un gros fragment du poids de 17 grammes, sept fragments du poids total de 6 grammes, des menus fragments pesant environ $1^{gr},5$ avec 2 grammes de très-petits fragments que l'on rencontre dans la poussière d'os ; tous ces fragments, examinés avec soin, n'ont offert aucune trace appréciable de fusion. Le gros fragment était chaud, mais non brûlant, quand on le découvrit.

La perte totale de la balle ne s'élevait qu'à 2 grammes, mais on ne peut que difficilement trouver les menus fragments disséminés dans la masse de poussière d'os.

Le papier, examiné avec soin partout où on avait retrouvé les fragments de plomb, était à l'état naturel, sans aucune coloration provenant de l'action d'une température élevée.

Une balle de plomb, à la vitesse de 380 mètres, frappe la partie supérieure de l'humérus du cheval, d'un diamètre de 55 millimètres, lié sur de gros cahiers de papier ; la balle traverse l'os et y forme un conduit conique dont l'entrée a 17 millimètres et la sortie environ 22 sur 25 millimètres de diamètre, puis traverse 56 millimètres de papier.

La balle est comme qui dirait très-irrégulièrement laminée, trois gros fragments, allongés et aplatis, de 15 sur 30 millimètres, pesant 20 grammes, sont brillants sur l'une de leurs faces par suite du frottement sur le papier et présentent l'aspect des fragments que l'on obtient sans l'intervention de l'os lorsque l'on tire dans des papiers perpendiculairement aux pages et avec des vitesses d'environ 300 mètres par seconde.

Les autres fragments sont plus petits et, parmi ceux-ci, des fragments minimes microscopiques qui ensemble ne pèsent pas 1 gramme, ne laissent apercevoir aucune trace de fusion.

La perte totale de la balle s'élevait à $1^{gr},5$, perte facile à comprendre, sans admettre la fusion.

Une dernière expérience me semble bien plus décisive.

Le maxillaire inférieur et sec d'un cheval est consolidé en plaçant une planche entre ses deux branches, de façon à ce qu'il soit bien fixé, comme s'il était encore en place dans l'animal ; il est appuyé sur une longue caisse vide, au fond de laquelle se trouve du papier pour recevoir la balle ; celle-ci,

animée d'une vitesse de 380 mètres, frappe l'os sensiblement au milieu de la partie horizontale et produit l'ouverture ordinaire, mais éraillée, c'est-à-dire avec de petites éclisses enlevées du côté du tireur ; deux grandes fentes qui s'étendent vers le bas se produisent à droite et à gauche à la hauteur du tiers de l'ouverture faite par la balle; la quatrième molaire est enlevée et réduite en menus fragments jusques et au delà de l'ouverture de sortie irrégulière d'un diamètre de 55 millimètres environ; la face interne de l'os porte quatre fentes convergentes vers le centre de l'ouverture.

Le projectile et les fragments d'os font du côté opposé une deuxième ouverture ellipsoïde irrégulière d'environ 45 et 60 millimètres de diamètre. La quatrième molaire de ce côté est enlevée aussi et réduite en menus fragments comme la première, la face externe de l'os porte une ouverture irrégulière ellipsoïde de 55 millimètres sur 70 qui laisse apercevoir une partie de la troisième molaire; quatre grandes fentes sont produites dans l'os : l'une se dirige vers la partie antérieure de la bouche, deux autres vers le fond, elles sont parallèles à la base; une dernière, plus caractérisée, se dirige vers le haut et dépasse la dernière molaire, qui est partiellement mise à nu vers l'extérieur par un fragment d'os enlevé.

La balle est implantée de fragments d'os, irrégulière, rugueuse, du côté où elle a frappé; sa forme est indescriptible, ses diamètres varient de 20 à 27 millimètres, son épaisseur est réduite à environ 7 millimètres en moyenne; elle a déchiré quelques feuilles de papier sans y pénétrer et sans s'y fixer; elle n'a perdu qu'environ $1^{gr},5$ de son poids.

Dans ce cas si exceptionnellement favorable aux opinions de M. Coze, il n'y a pas la moindre trace de fusion observable; la balle a brisé et traversé six couches d'os, les quatre lames et les deux molaires, ou environ 60 à 65 millimètres d'épaisseur totale.

---

§ 16. *Conclusions générales tirées des expériences décrites dans les §§ 12, 13, 14 et 15. — Exactitude des calculs de M. Coze, mais application erronée et donnée importante douteuse. — Rapports probables entre la force vive et la gravité des désordres produits par les blessures des armes à feu.*

Je crois que tous les chirurgiens qui auront eu la patience de suivre l'exposé des expériences des quatre paragraphes précédents n'hésiteront pas à conclure : que l'opinion qui admet la fusion des balles dans les plaies des armes à feu n'est basée sur aucune expérience connue qui puisse la justifier : que, de plus, il paraît ressortir de ce que j'ai démontré, par tous les calculs nécessaires, dans les §§ 6 à 11, qui donnent toutes les relations entre la force vive et la chaleur, que cette opinion est le résultat d'une interprétation

erronée des principes de la thermodynamique, et qu'elle doit être considérée comme étant absolument fausse.

Le plomb des projectiles ne fond pas en s'écrasant sur les os durs, sur des boutons et des pièces de monnaie ; il ne fond même pas en quantité notable lorsqu'il est arrêté par un obstacle inébranlable, les cibles de fer, etc.

Le corps d'un animal ne peut être assimilé à un obstacle fixe, inébranlable et très dur, comme une enclume appuyée contre un mur ; la balle qui blesse exécute un travail externe, et ce travail absorbe la chaleur qui pourrait se produire.

En admettant les opinions de M. Coze, on introduirait dans la chirurgie militaire des idées erronées et l'erreur ne peut être utile ni au malheureux blessé, ni au chirurgien, ni au médecin.

Mais les opinions de M. Coze sont basées sur des calculs ; de plus, ces calculs sont exacts ; une seule de leurs données appartient à M. Coze et cette donnée est absolument hypothétique, je la trouve exagérée, je veux parler de la température qu'il suppose à la balle au sortir du fusil, c'est-à dire 100° C.

Je crois donc devoir reproduire dans la notation que nous avons adoptée, non-seulement tous les calculs de l'article du *Journal des Débats* et du *Moniteur belge*, mais ce qu'il renferme d'essentiel au point de vue de la fusion des balles ; les comparaisons seront donc faciles et simples et n'entraîneront à aucun travail, aucune perte de temps pour le lecteur.

Je dois cependant exprimer le regret d'être obligé d'emprunter ces données à des journaux périodiques et je ne me serais pas permis d'en agir de la sorte si, telles qu'elles se trouvent dans ces journaux, elles ne justifiaient les conclusions qui ont été imprimées dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris*.

« La vitesse d'une balle de 40 grammes, au sortir du fusil suisse, est d'environ 320 mètres. Sa force vive est, par conséquent, de 209 kilogrammètres, » ce qui équivaut, en cas d'arrêt brusque, à la moitié environ de la chaleur » nécessaire pour élever de 1 degré 1 kilogramme d'eau, soit, plus exactement, » 0,49 de calorie. Il est bien facile de voir que cette quantité de chaleur est » suffisante pour opérer la fusion de la balle.

» En sortant du fusil, le projectile échauffé par l'inflammation de la poudre » et le frottement contre le canon, doit être à une température que l'on peut » évaluer au moins à 100 degrés. Le plomb fond à 335 degrés ; sa chaleur » spécifique est de 0,031 et sa chaleur de fusion de 5,37. De là, on déduit que, » pour s'échauffer de 100 degrés à 335 degrés, la balle a absorbé 0,29 » calorie ; puis, pour fondre les 27 grammes détachés de la balle, il a encore » fallu 0,15 calorie ; au total, 0,44 calorie. Or, on disposait de 0,49 calorie. Il » est donc tout naturel qu'en perdant sa vitesse le projectile se soit échauffé au » point de se fondre en grande partie.

» Si la cible avait été plus éloignée, le résultat, bien que moins tranché, n'en » eut pas moins été le même : une portion de plomb se fut encore fondue.

» L'observation et le calcul se réunissent donc pour nous faire attribuer à » une toute autre cause qu'on ne l'avait admis jusqu'ici le morcellement des » balles dans l'organisme et les désordres qui s'y rattachent. »

Détails des calculs de M. Coze.

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{pv^2}{2g} = \frac{520 \times 520 \times 0{,}04}{2 \times 9{,}8108} = \frac{102400 \times 0{,}04}{19.6216} = 209 \text{ D.}$$

La force vive de 209 D correspond à 209 D $\times \frac{1}{425} = 0{,}49$ de calorie.

La balle, pour s'échauffer de 100° C. à 335, absorbe une quantité de chaleur représentée par :

$$mgc\ (335 - 100) = 0{,}040 \times 0{,}0314 \times 235 = 0{,}29 \text{ de calorie.}$$

Pour fondre 27 grammes de plomb détaché par fusion de la balle, la chaleur nécessaire s'élèvera : mgC'' $(0{,}027 \times 5{,}369) = 0{,}15$ de calorie, sensiblement en forçant la fraction ; d'où $0{,}15 + 0{,}29 = 0{,}44$ de calorie pour la chaleur totale, destinée à échauffer 40 grammes de plomb de 235° C. et d'en fondre 27 gr. ; or, le mouvement détruit serait représenté par 0,49, d'où la différence $0{,}49 - 0{,}44 = 0{,}05$ de calorie.

Je me permettrai de faire observer que si la température de la balle, au sortir de l'arme, n'était que de 63° C., ce qui, sauf preuve du contraire, me paraît un chiffre trop élevé encore, nous aurions :

$$mgc\ (335 - 63) = 0{,}040 \times 0{,}0314 \times 272 = 0{,}34 \text{ de calorie,}$$

d'où :

$$0{,}15 + 0{,}34 - 0{,}49 = 0$$

ce qui signifierait que, dans ce cas, tout aussi probable, plus probable, selon moi, que la donnée admise sans preuve par M. Coze, il n'y a plus de chaleur disponible, plus de mouvement, plus de force vive, et, par conséquent, plus de blessure ; 27 grammes de plomb ont fondu et 40 grammes ont été portés de 272° C. à 335° C., température de la fusion.

Mais, puisque nous sommes dans le doute, voyons ce qu'il arriverait si l'on disposait d'une quantité de mouvement représentée par 0,05 ou un vingtième de calorie.

Nous avons :

$$\frac{T}{C} = E \text{ ou } T = C \times E = 0{,}05 \times 425 = 21{,}25 \text{ D.}$$

Or, 21,25 kilogrammètres correspondent à la force vive d'une balle de 40 grammes, animée d'une vitesse de 101 mètres ; en effet :

$$\frac{mv^2}{2E} = \frac{pv^2}{2gE} = \frac{0{,}04 \times v^2}{19{,}6216 \times 425}.$$

$$v^2 = \frac{19{,}6216 \times 425}{0{,}04} = 10183.$$

$$v = \sqrt{10183} = 100^m 9.$$

La cause de la blessure, c'est-à-dire la force vive d'une balle pareille, serait réduite, comparativement à celle qui serait animée d'une vitesse de 320 mètres, dans les rapports de 209 D à 21,25 D, en la supposant intacte encore au moment de sa pénétration dans les chairs ou de son arrêt sur les os; il faudrait supposer en outre, qu'elle ne s'échaufferait pas, qu'elle ne subirait aucune déformation et que toute sa force vive, n'équivalant qu'aux *neuf dixièmes* environ de la première, serait utilisée à mutiler le soldat blessé.

Autant que j'oserais me prononcer sur ces questions, cette proportionnalité entre la force vive et l'intensité ou la gravité de la blessure produite dans le même organe, non essentiel à la vie, doit laisser à désirer. M. Nélaton admet que des projectiles dont la force d'impulsion est à peu près complètement épuisée jouissent encore de la propriété de produire les lésions les plus graves.

---

§ 17. *Examen succinct des phénomènes qui se produisent dans le mouvement des projectiles dans l'air. — Les balles entraînent de l'air. — Le projectile lancé par une arme à feu n'est pas simple : il est composé d'un projectile solide et d'un* projectile-air; *conclusion à tirer de ces faits. — Nécessité de nouvelles expériences. — M. Coze a bien mérité de la science.*

Loin de moi l'idée de vouloir m'arroger le droit d'intervenir dans des questions chirurgicales, j'ai la certitude de mon incompétence et je dois borner mon examen à chercher à analyser ce qui se passe dans les phénomènes que les balles, animées de vitesses plus ou moins considérables, produisent lorsqu'elles rencontrent des obstacles de nature très-différente.

Il me semble cependant que l'on est souvent dans le doute lorsque l'on cherche à se rendre compte de la fragmentation des balles dans l'organisme, des déviations qu'elles présentent et surtout de la gravité des lésions.

On me permettra, je l'espère, d'émettre quelques avis suggérés à la suite des expériences nombreuses que j'ai faites sur le passage des projectiles à travers les milieux résistants après un parcours de quelques mètres au moins dans l'air.

J'ai prouvé, au moyen de plusieurs appareils : 1° qu'un projectile sphérique entraîne avec lui une quantité considérable d'air dépendante de sa vitesse et d'autres circonstances; 2° qu'une partie de cet air précède le projectile; 3° que par lui-même ou en communiquant sa force vive à d'autres corps, cet air est capable de produire des effets mécaniques considérables; 4° j'ai démontré que

cet air est capable d'empêcher le contact immédiat d'une balle de métal dur acier, fer, cuivre, bronze, etc., avec un obstacle très-résistant, des lames de fer épaisses, et même des plaques de fonte de 16 millimètres d'épaisseur que les balles de métaux durs brisent et traversent cependant.

On observe, en effet, que les balles de cuivre ou de bronze, qui frappent un obstacle résistant, présentent un plan parfait à la place qui a touché l'obstacle à faible vitesse; mais l'air qui les précède lorsqu'elles sont animées de vitesses considérables ne permet plus qu'il se produise un plan, et la balle, bien que brisée ou aplatie, offre encore une forme convexe au point d'impact.

Les balles de plomb qui frappent un fort bloc de plomb à faible vitesse y produisent un enfoncement, mais n'adhèrent pas au bloc; la vitesse augmente-t-elle, elles adhèrent; si celle-ci atteint 250 mètres, non-seulement elles adhèrent, mais paraissent parfaitement soudées plomb sur plomb sur tout le pourtour du creux dans lequel elles sont logées, le point d'impact au centre est libre; la vitesse atteint-elle 400^{m} environ, l'impression est profonde, la balle occupe le fond d'un cône considérable, dont la base est tournée vers le tireur; mais, chose étonnante, elle n'adhère plus, car la grande quantité d'air qui la précède a empêché cette adhérence.

Je crois pouvoir poser ces données comme étant le résultat d'un nombre considérable d'expériences dont je possède encore tous les matériaux; ils sont à la disposition de tous les savants qui auraient intérêt à les examiner, à les étudier avec détails ou à les critiquer.

S'agit-il de determiner exactement les quantités totales d'air entraînées par la balle, beaucoup de circonstances peuvent et doivent intervenir, et je crois devoir renvoyer le lecteur aux deux notes insérées dans les *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences de Paris* (séances du 30 septembre 1867, T. LXV, page 564 et du 29 novembre 1869, T. LXIX, page 1114). Disons seulement que l'on recueille des quantités d'air qui, dans des expériences où la balle traversait d'abord une lame de laiton mince avant de pénétrer dans l'eau dans laquelle l'air entraîné était recueilli, se sont élevées jusqu'à atteindre plusieurs centaines de fois le volume de la balle, quand la vitesse était de près de 400 mètres et que la bouche à feu était éloignée de 7 mètres de la caisse remplie d'eau destinée à recueillir l'air; lorsque la bouche à feu est très-près, on peut non-seulement recueillir de l'air dans mon appareil, mais une quantité considérable des gaz de la poudre; je m'en suis assuré en faisant l'analyse des gaz entraînés. Je ne parle, bien entendu, que de la balle sphérique, car je n'ai pas expérimenté encore avec les balles ogivales; mais tout porte à croire qu'elles doivent agir sur l'air de la même façon, même dans le cas le plus défavorable à cet entraînement, c'est-à-dire lorsqu'elles frappent normalement par leur pointe, pourvu que la vitesse soit suffisante; il est incontestable que la quantité d'air entraîné dans ce cas doit

être moindre que celle qui accompagne la balle sphérique et se rattacher nécessairement d'une façon quelconque à la valeur de la résistance que l'air oppose au mouvement des projectiles ; les géomètres nous le diront un jour ; on sait, par des calculs analytiques fort simples, que la résistance théorique que l'air oppose au mouvement d'un projectile ogival n'est que des 7/12 de la résistance éprouvée par une sphère, quand le rayon de l'ogive est deux fois celui de la sphère, et seulement des 5/16 quand le rayon de l'ogive est de quatre fois celui de la sphère.

Ces données, qui me sont communiquées par un des officiers les plus distingués de l'artillerie belge, tendraient à prouver que la quantité d'air entraîné par les projectiles ogivaux n'atteint même pas, dans ce cas le plus défavorable, les 7/12 ou les 5/16 du volume de l'air entraîné par la sphère; la question, cependant, change pour toute autre position du projectile, par exemple, s'il frappe obliquement, et c'est le cas le plus commun.

Toutes les expériences sont à faire : j'ai dû reculer devant les frais qu'elles nécessitent.

J'ai cependant fait voir qu'un cône, de 0m850 de haut, ayant 0m,120 de diamètre à sa base, terminé par une pointe, tombant dans l'eau, avec des vitesses de 10 à 12 mètres par seconde, c'est-à-dire en tombant d'une hauteur d'environ 8 mètres, n'entraîne pas d'air dans l'intérieur de l'eau ; que le même cône, tronqué et terminé par un plan ou par une calotte sphérique de 17 millimètres de diamètre, en entraîne dans ce cas des quantités considérables ; que même avec une hauteur de chute inférieure à 1 mètre, il y avait encore entraînement d'air.

Mais vu les coups obliques, vu la vitesse énorme des projectiles comparée à celle avec laquelle j'ai expérimenté en employant un cône aigu, il est indubitable, ce me semble, qu'un projectile lancé par une arme à feu, entraîne une quantité notable d'air avec lui, quelle que soit la forme de la balle simple ou ramée.

Cette restriction mise de côté, on voudra bien ne pas perdre de vue que toutes les expériences dont je parle ont été faites avec la balle sphérique.

S'il est incontestable que ce projectile entraîne de l'air, qu'une partie de cet air se trouve en avant du projectile, on voit de suite que, dans les blessures par les armes à feu, les effets sont produits par deux projectiles frappant simultanément, le projectile solide qui se déforme sans changer sensiblement de volume et le projectile gazeux, qui, comprimé en avant du solide, tend à reprendre son volume primitif, correspondant à la pression atmosphérique, tout en perdant sa force vive et en produisant des dilacérations particulières qui, dans des cas donnés, peuvent simuler l'effet qui serait produit par une balle explosive. Or, on n'a jamais tenu compte de ces faits, qu'il ne faut pas confondre avec ce que l'on désigne encore parfois par *vent du boulet*.

Quand on lance des projectiles dans les appareils qui m'ont servi, et quand

on voit les effets produits par la communication du mouvement du projectile et de l'air à l'eau d'abord et ensuite aux parois les plus résistantes; quand on voit celles-ci brisées, on a de la peine à ne pas attribuer une large part des phénomènes si graves des blessures des armes à feu à cet air capable de porter son action au loin.

On doit comprendre maintenant la différence qu'il y a nécessairement entre l'action d'un coup de marteau et celle d'un projectile, en leur supposant la même force vive, en leur donnant, autant que possible, la même forme, tous deux étant formés de la même matière. La restriction que je faisais dans les observations préliminaires se trouve parfaitement justifiée.

Dans le coup de marteau frappé avec la plus grande violence, c'est un solide qui frappe un solide, l'air en avant étant peu comprimé; mais le projectile lancé par une arme à feu, considéré au moment où il frappe et pénètre, exerce trois actions très-différentes et se succédant dans un intervalle de temps très-court : 1° action du gaz due à son poids et à sa forme; 2° action due à l'élasticité du gaz dont le volume augmente subitement, suivie 3° de l'action du solide, qui se déforme sans changement sensible de volume et frappe les solides déjà entamés par l'action du *projectile-air*.

Toute la force vive du marteau peut se mesurer assez exactement; on peut tenir compte de l'élasticité de la matière dont il est formé, tandis que, pour le *projectile-air*, sa masse, son volume, ou sa densité, sa forme, nous échappent et, par suite, aussi les actions qui peuvent être dues à ses propriétés comme masse gazeuse éminemment élastique.

J'éprouve, en terminant ce mémoire, deux graves motifs de chagrin : le premier m'est personnel, je l'élimine en avouant que je sens combien cette note peut laisser à désirer dans quelques parties; ceux qui auront travaillé et expérimenté comme moi pendant quelques années pourront me pardonner. L'autre ne m'est plus personnel et cependant m'attriste davantage ; en effet, j'ai été amené à critiquer vivement M. le professeur Coze ; je crois l'avoir fait dans les formes scientifiques, mais je prie les savants chirurgirens qui me liront de bien remarquer que c'est le physicien que je critique et non le chirurgien. J'exprime le profond regret de ne pas pouvoir séparer le premier du .second, car les observations, quelles qu'elles soient, du reste, et qui doivent se trouver décrites dans la note présentée à l'Institut par le savant professeur de Strasbourg, prouveront à tous qu'il était difficile de ne pas s'exposer à commettre une erreur dans une donnée de physique dont il était permis de faire une application à l'art de guérir. La forme interne exacte parfois si compliqué , si bizarre des blessures, doit jeter le trouble dans les observations chirurgicales

quand on cherche à se rendre compte de *causes* si nombreuses qui ont pu concourir à la produire. Sans rien préjuger, je pense que le fait de l'entraînement de l'air dans les blessures mérite d'attirer l'attention des chirurgiens, et particulièrement de celui qui a dû beaucoup réfléchir sur ces terribles phénomènes et qui a rencoutré et étudié ces formes de blessures qui ont jeté le doute dans son esprit et dans celui de la plupart de ceux qui ont été à même de les observer et d'en suivre toutes les données, si variées et si navrantes souvent.

Je me prends à dire que, dans la personne de M. Coze, le savant a été égaré momentanément par l'homme de cœur, et, quoiqu'il en soit, il a bien mérité de la science en abordant cette difficile question.